COUSTEAU


ENCICLOPEDIA DEL MAR

17



folio





COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

17

Dirección editorial: Julián Viñuales Solé

Asesores científicos: Serge Bertino, Rhodes W. Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

Traducción: Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

Coordinación editorial: Julián Viñuales Lorenzo

Coordinación técnica: Pilar Mora

Coordinación de producción: Miguel Angel Roig

Para esta edición:
S.A. de Promoción y Ediciones
Club Internacional del Libro
Avda. de Manoteras, 50-52
28050 MADRID

Fotolitos cedidos por
Ediciones Folio, S.A.

De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmes titulada genéricamente *Los Secretos del Mar*

ISBN: 84-7583-510-4 (Volumen 17)
84-7583-530-9 (Obra completa)
D. Legal: NA-20-1994

Impresión: Gráficas Estella, S.A.

COUSTEAU
ENCICLOPEDIA DEL MAR

17

folio

SUMARIO

LOS EMPORIOS COMERCIALES

8 Las premisas de la expansión
12 Los pioneros portugueses
14 El imperio español
16 Los comerciantes holandeses
18 La Francia de ultramar
20 El imperio británico

LAS GRANDES BATALLAS NAVALES

24 Enfrentamiento de trirremes en Salamina
26 Lepanto, la derrota de los infieles
28 La Armada Invencible
30 Trafalgar, una batalla de velas
32 Los primeros acorazados
34 La batalla de Jutlandia
36 La guerra del Pacífico

LA EXPLOTACIÓN DE LOS MINERALES

40 Yacimientos de la plataforma
42 Diamantes en playas
44 Los metales pesados
46 El oro y el estaño de los mares
48 Las arenas y las gravas
52 Las operaciones de explotación

LOS YACIMIENTOS SUBMARINOS

56 Los minerales de los abismos
58 Los manantiales hipersalados calientes
60 Los nódulos polimetálicos
64 Los depósitos de azufre
66 Los métodos de extracción
68 La inmersión de los desechos

LA SAL DEL MAR

72 Un mineral indispensable
74 Las evaporitas y las bóbedas saladas
78 La producción de sal
82 La desalinización
86 Las energías de la sal



Los emporios comerciales

Las premisas de la expansión



A través de los océanos. *Los Grandes Descubrimientos del siglo* XVI *marcaron el inicio de la expansión europea en el mundo. Saliendo del Mediterráneo, del mar del Norte o del Báltico, los marinos europeos se extendieron por todo el globo. Para emprender estos grandes viajes, se aprovecharon de importantes proezas tecnológicas: barcos más sólidos y rápidos (carabelas), timón de codaste, brújula, etc. Los portugueses fueron los primeros en hacerse a la mar, y luego les tocó la vez a los españoles. Cuando el poderío marítimo de los reyes de España menguó, otros europeos tomaron el relevo, esencialmente holandeses, franceses e ingleses. En la página siguiente, abajo: corte esquemático de una de las carabelas de Cristóbal Colón, concretamente la capitana, la* Santa María, *mostrando el contenido de las bodegas y los distintos departamentos. En la misma página, arriba: un grabado holandés del año 1600 aproximadamente, mostrando a la vez a unos geógrafos trabajando con sus globos y unos barcos en el mar. Aquí, a la izquierda: los galeones españoles (frente a las costas de Florida) llevaron del Nuevo Mundo a Europa extraordinarias cantidades de oro, plata, etcétera.*

DESDE finales del siglo XV a finales del XIX, un pequeño número de países europeos dominaron el mundo, tanto en el plano político como en el económico, sin hablar del dominio militar, de la cultura y de la ciencia. Para estas naciones, el labrarse un imperio se convirtió en tarea esencial.

Imperios que cuanto más vastos y poblados eran, más fuertes y consideradas eran también sus metrópolis. Las potencias militar y comercial iban a la par.

Los métodos de construcción de los barcos mejoraron grandemente a finales del siglo XV. Es esta la época en que se desarrolla la carabela portuguesa de dos palos, combinando la potencia de las velas cuadrangulares con la maniobrabilidad de las velas triangulares. La carabela portuguesa, sin embargo, no fue creada *ex nihilo:* es tributaria tanto de los barcos vikingos cuanto de las naves árabes. El timón de codaste, que sustituyó al remo reforzado, constituyó un progreso técnico decisivo. Es evidente también que los Grandes Descubrimientos no se hubieran llevado a cabo si los árabes no hubieran traído de China la brújula y si, al propio tiempo, los relojeros europeos no hubieran mejorado considerablemente los aparatos de medida del tiempo, particularmente la clepsidra.

Durante mucho tiempo, los marinos dudaron entre dar preponderancia a la maniobrabilidad de sus barcos o a la potencia. La *Niña* de Cristóbal Colón, por ejemplo, era pequeña y maniobrable; pero los sucesores del gran navegante prefirieron a menudo hacerse a la mar en navíos más pesados pero también más confortables.

Por lo demás, una vez llevados a cabo los

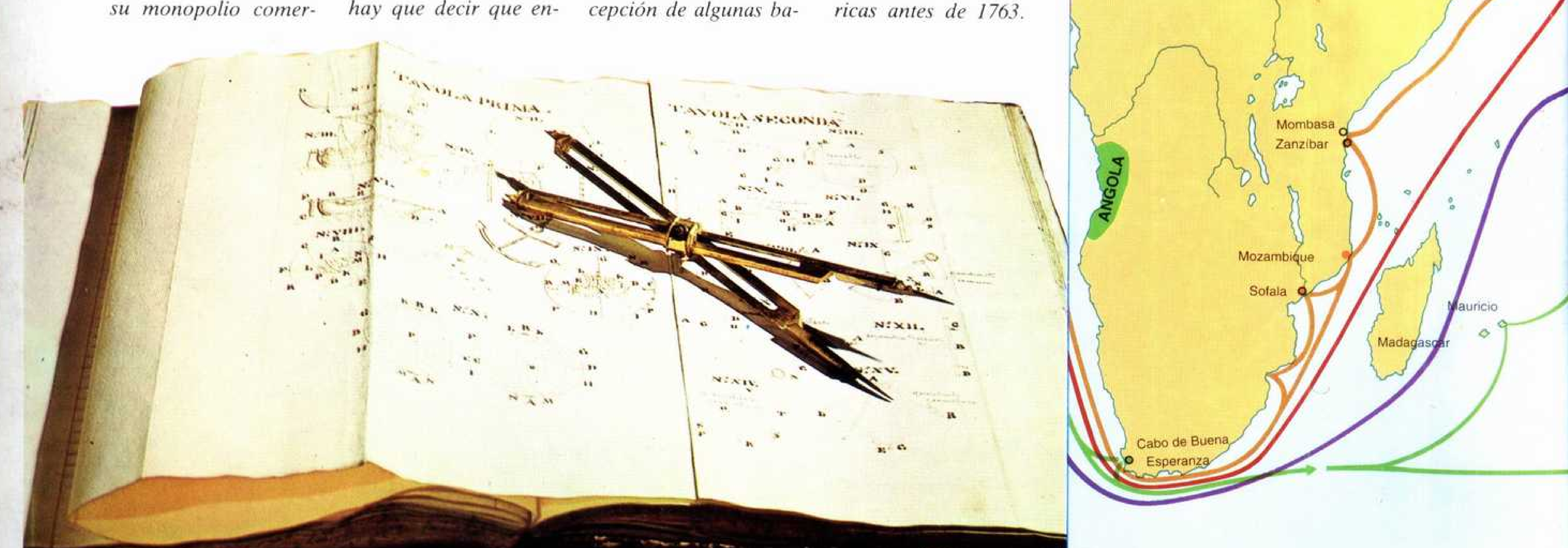


descubrimientos, el problema que se planteó fue el de aprovechar al máximo las riquezas de los países explorados. Para ello se tenía que construir una flota mercante sólida, constituida por unidades resistentes a los golpes de mar, capaces de transportar grandes tonelajes de mercancía, y no por eso menos rápidas. Las exigencias del comercio, que implicaban la rentabilidad, obligaron a los ingenieros navales a lograr verdaderas proezas técnicas. Pero no fueron éstos los únicos en hacer innovaciones: todas las ramas de las artes mecánicas y de las ciencias progresaron por parejo. Se mejoraron las técnicas de navegación loxodrómicas (con clepsidra y brújula), y el conocimiento geográfico avanzó espectacularmente. Naturalistas, geógrafos, científicos de todas las disciplinas fueron convocados, en una especie de extraordinaria expansión general de los saberes humanos. Alrededor del año 1000, los vikingos habían llegado a América del Norte; pero si esta conquista fue notable desde el punto de vista de la navegación, no tuvo prácticamente consecuencia alguna desde los criterios económico, político y cultural. Los viajes de Colón, por el contrario, provocaron un cambio total.

Los primeros grandes navegantes fueron los portugueses: uno de ellos, Vasco de Gama, fue el que encontró la ruta de la India después de doblar el cabo de Buena Esperanza. Los marinos lusitanos se aprovecharon, ciertamente, de un cúmulo de circunstancias extraordinario, que les proporcionó un avance considerable sobre el resto de Europa. La voluntad política del príncipe Enrique el Navegante contó mucho también en su éxito en ultramar. Los españoles, no obstante, no tardaron mucho en disputarles su superioridad marítima. Más tarde, las dos potencias ibéricas se enfrentaron a otros nuevos candidatos al imperio: Holanda, Inglaterra y Francia.

princ. rutas comerciales españolas
princ. rutas comerciales portuguesas
zonas bajo control efectivo español
zonas bajo control efectivo portugués

La expansión europea en ultramar. *Durante mucho tiempo, portugueses y españoles (por lo demás, contrincantes) lograron mantener en secreto sus grandes rutas de navegación hacia América, la India y China. Eran naturalmente muy celosos de su monopolio comercial, particularmente fructífero. Pero pronto, al disminuir su propio poderío, tuvieron que ceder terreno a los holandeses, los franceses y los ingleses. Estos tres últimos colonizadores tuvieron cada uno su propia Compañía de las Indias Orientales: no hay que decir que entre sí se hicieron también la más feroz de las competencias... La supremacía de Inglaterra sobre Francia se consagró al terminar la guerra de los Siete Años, en el Tratado de París (1763), por el que Francia perdió sus posesiones canadienses e hindúes (con excepción de algunas bases comerciales). El mapa de arriba muestra las rutas portuguesas y españolas en el siglo XVI. El de aquí al lado muestra las rutas de los europeos en el océano Indico a mediados del siglo XVIII. El mapa de la página siguiente esquematiza la división de las Américas antes de 1763.*




Océano Glacial
GROENLANDIA
TIERRA DE RUPERT
Bahía de Hudson
pieles
TERRANOVA
NUEVA FRANCIA
Montreal
Quebec
Boston
aparejos navales
pieles cereales
grano
LUISIANA
Ohio
Nueva York
Jamestown
tabaco
cereales
San Francisco
Los Angeles (1780)
NUEVA ESPAÑA
Nueva Orleans
FLORIDA
Golfo de México
azúcar
tabaco
INDIAS OCCIDENTALES
CUBA
comercio de esclavos con Africa
plata
México
Belize (G. B. 1683)
carmín
oro
Mar Caribe
AMERICA CENTRAL
tabaco
cacao
pieles
Caracas
oro
Panamá
Paramaribo
GUAYANA
Cayena
drogas
plantas raras
OCEANO PACIFICO
NUEVA GRANADA
Quito
oro
aparejos navales
PERU
Amazonas
BRASIL
azúcar
tabaco
algodón
plata
Lima
drogas
Cuzco
PERU
diamantes
cobre
cereales
Río de Janeiro
bovinos
RIO DE LA PLATA
CHILE
cuero
plata
Buenos Aires
Océano Atlántico meridional
COREA
CHINA
Riu Kyu
Cantón
Taiwán
seda
Bonin
plata
Filipinas
Marianas
Guam
Carolinas
Molucas
Célebes
Amboine
Banda
JAPON
CHINA
Nagasaki
Amoy
Cantón
Macao
Zeelandia
a Acapulco
de Acapulco
Surat
Bassein
Bombay
INDIA
Goa
Calcuta
PEGU
TENASSERIM
Ayutthaya
Madrás
Manila
FILIPINAS
OCEANO ATLANTICO
Colombo
Achin
Malaca
Archipiélago Malayo
Bantam
Batavia
Macasar
Islas de las Especias (Molucas)
Timor
OCEANO INDICO
NUEVA HOLANDA
Portugueses
Ingleses y franceses
Rusos
Principales exportaciones
Españoles

Los pioneros portugueses

ENTRE los personajes que participaron en la creación del imperio colonial portugués en el siglo XV hay que citar naturalmente al infante don Enrique el Navegante (1394-1460), que instituyó la primera escuela de navegación del mundo; y a los exploradores Bartolomé Díaz (que dobló el cabo de las Tempestades, más tarde llamado de Buena Esperanza, en 1487), y a Vasco de Gama (que llegó a las Indias en 1498).

Después destacaron Pedro Alvarez Cabral (1460-1526), que llegó a las costas del Brasil. Magallanes, que efectuó la primera vuelta al mundo, era de origen portugués, pero estaba al servicio del rey de España, al igual que el genovés Cristóbal Colón lo había hecho antes que él.

Abriendo la ruta de las Indias, los navegantes portugueses fundaron sucursales en Goa, en Ceilán, y luego navegaron hasta Indonesia y China. Los dos grandes nombres de esta exploración de las costas extremo-orientales son los de Almeida y Alburquerque. Bien pronto, entre las colonias lejanas y Lisboa se establecieron relaciones comerciales sostenidas.

Los portugueses obedecían, ciertamente, a motivaciones políticas y económicas al partir tan lejos. Pero tenían también sinceras preocupaciones religiosas. Deseaban convertir a la verdadera fe —al catolicismo— a los pueblos con los que entraban en contacto. La lucha contra los infieles (en especial contra los mahometanos) era compatible con la extensión de la esfera de influencia comercial y política.

La incursión de los portugueses en Marruecos, en 1415, fue tal vez esencialmente provocada por motivos económicos. Ceuta (el puerto que constituyó el objetivo principal de los lusitanos) era el punto en que desembocaba el importante tráfico de oro transahariano. Esta primera incursión hacia el sur inspiró a los príncipes y navegantes lisboetas: la exploración sistemática de las costas del Africa occidental fue tanto cuestión de curiosidad como de rápido beneficio.

Portugal se apoderó de los archipiélagos del Atlántico oriental: Madeira, las Azores, las islas de Cabo Verde, con la única excepción de las Canarias, conquistadas por la corona de Castilla. Los navegantes lusitanos establecieron con toda facilidad sucursales y fortines especialmente en el golfo de Guinea, y luego en lo que habría de ser Angola.

Como se sabe, fue el azar la causa de que Cabral, en ruta hacia el Africa del Sur, fuera arrastrado por una tempestad hacia



Brasil, al oeste. *Buscando un nuevo paso hacia las Indias, el portugués Cabral, desviado de su ruta por una tempestad, llegó al Brasil en 1500 (el mapa de arriba de esta página data de 1519). Aquí encima: una tripulación del siglo XVI.*

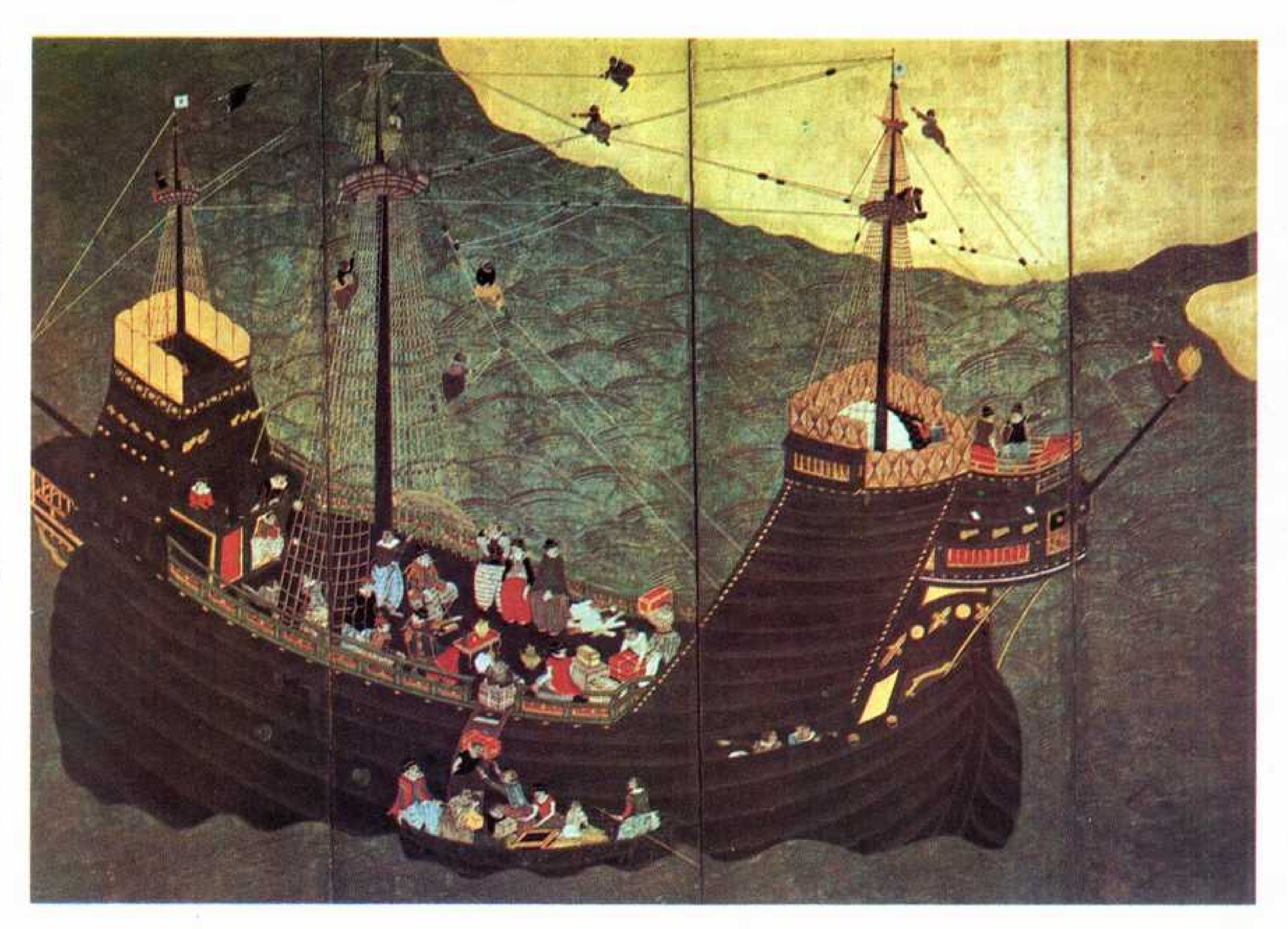
La India, al este. *Los portugueses, con Vasco de Gama, fueron los primeros en llegar a la India por vía marítima. En la página siguiente, arriba: un convoy portugués, con el almirante Francesco Saverio, parte para evangelizar.*

el oeste, descubriendo el Brasil. Pronto, esta tierra del Nuevo Mundo se convertiría en un lugar de gran significación de la colonización portuguesa.

Durante varios decenios, los portugueses detentaron el casi total monopolio del comercio con Oriente. Comerciaban allí, pero especialmente compraban especias con destino a toda Europa. Estaban en relación, por una parte, con las islas donde se daba la pimienta, la canela, la nuez moscada y las demás plantas preciosas; y por otra, con los comerciantes de los grandes puertos de Europa: Amsterdam, Amberes, Londres, Marsella, etc. Así inauguraron una especie de fructífero comercio triangular: traían a Lisboa los productos coloniales, los revendían en los mercados europeos, comprando en ellos telas y productos manufacturados, y reexportaban una parte de estas mercancías hacia los poblamientos de las nuevas tierras.

Las relaciones con los indígenas variaban según las circunstancias. A veces se recurría a la fuerza bruta, como cuando Vasco de Gama bombardeó el puerto de Calicut, en la costa de Malabar. En otras ocasiones, los pioneros establecían perdurables lazos de amistad con los pueblos que evangelizaban.

Los portugueses en el Extremo Oriente. *El fragmento de biombo chino de abajo muestra a un barco portugués llegado para comerciar en los puertos del imperio Medio, en el siglo XVI. Los portugueses trataron muy pronto con China (Catay) y el Japón (Cipango o Cipangu), y produjeron una fuerte impresión en los habitantes de estos países. Las obras de arte y los textos literarios que mencionan su llegada son numerosos. Sus iniciativas comerciales fueron en general bastante bien recibidas, pero no las religiosas.*



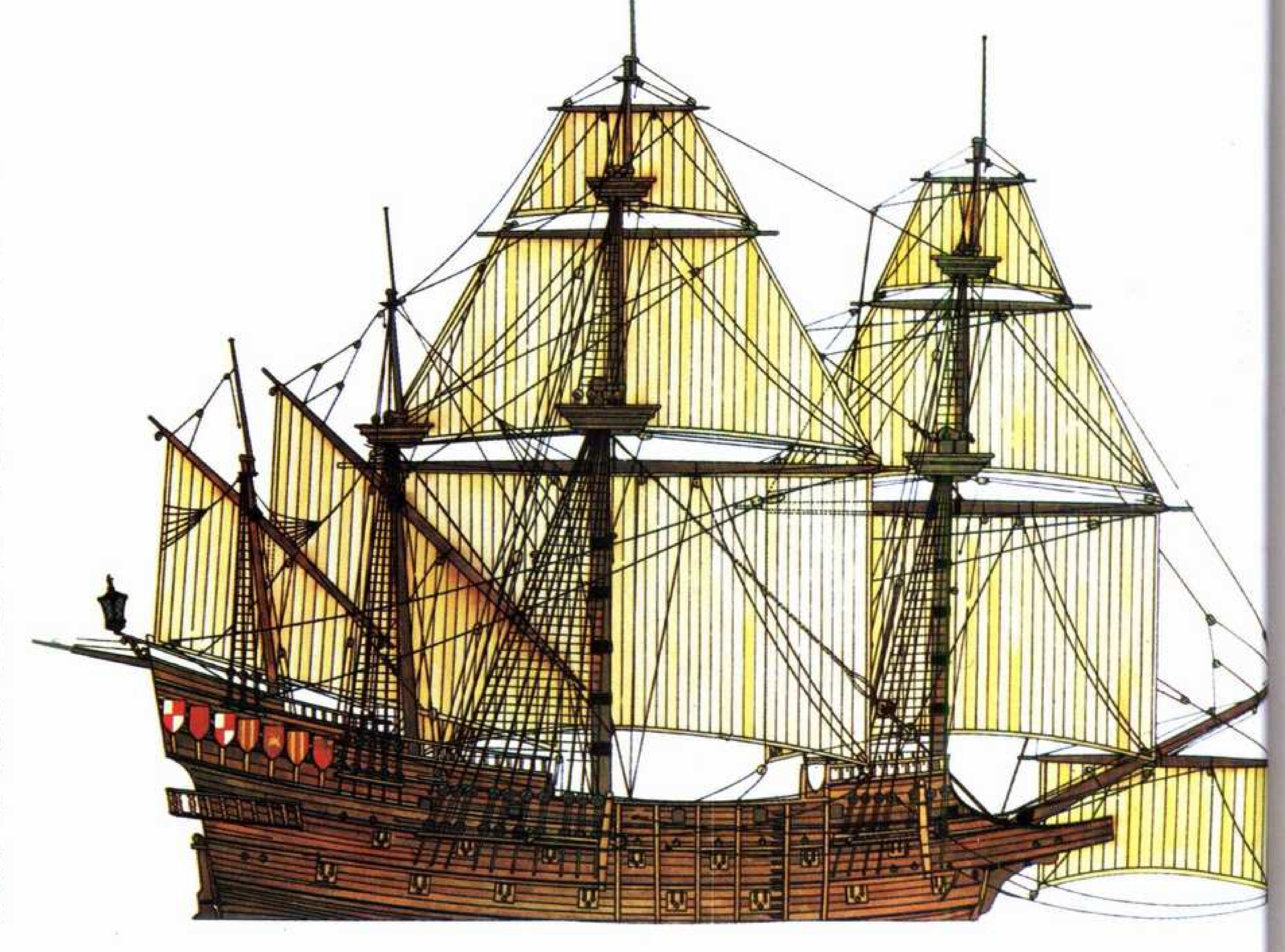
El imperio español

Los portugueses, como acabamos de decir, fueron los pioneros del colonialismo moderno, y reforzaron su predominio en las rutas que llevaban a la India, a Indonesia y China. Pero a finales del siglo XV, la otra potencia ibérica, España, se impuso el deber de labrarse a su vez un imperio, enviando naves allende el océano. La avanzada fue evidentemente el descubrimiento de América por Cristóbal Colón en 1492. De inmediato, los españoles exploraron y colonizaron el Nuevo Mundo. Estableciéndose desde Argentina hasta México, sólo les dejaron Brasil a los portugueses.

La penetración española hacia el oeste fue tanto más intensa cuanto que los portugueses controlaban las rutas comerciales africanas y orientales. Los reyes de España convocaron a los navegantes de diferentes países para poner las bases de su imperio y asegurarlas. Colón era genovés, Magallanes —irónicamente— portugués.

Fue, pues, esencialmente para contrarrestar a los portugueses en Oriente por lo que Magallanes emprendió la vuelta al mundo por cuenta del rey de España. El murió en las Filipinas, pero su segundo, Elcano, finalizó el viaje; y las Filipinas quedaron en poder de la corona española. Los portugueses lograrían mantener su supremacía en esta región del mundo, particularmente en las Molucas y las islas indonesias cercanas, aprovechándose de la guerra franco-española entre Carlos V y Francico I, que tanto debilitó a España. No obstante, sería en tiempos de Carlos V cuando, según la famosa leyenda, en sus tierras «no se ponía el Sol».

Los descubrimientos españoles fueron para este país fuente de extraordinarias riquezas. El oro y la plata del Nuevo Mundo crearon en las ciudades ibéricas un considerable poderío, esencialmente monetario. El «nivel de vida» de los españoles —para emplear una expresión moderna— fue muy elevado durante todo el siglo XVI, comparado con el de los demás pueblos de Europa. No obstante, esta riqueza tendría pronto su contrapartida:



a España, instalada en la abundancia monetaria, le faltó enteramente la gran revolución agrícola y tecnológica que se iniciaba en esos momentos en los Países Bajos, en Inglaterra y en Francia.

Los conquistadores, brutales a veces, sometieron en poco tiempo inmensos imperios. Los incas fueron vencidos por Pizarro en el Perú, mientras que los aztecas cedieron ante las tropas poco numerosas de Hernán Cortés. Las brillantes civilizaciones precolombinas se derrumbaron una tras otra a la llegada de los europeos, que, según la famosa frase, tenían la Biblia en una mano y la espada en la otra. Así se produjeron verdaderos genocidios, especialmente en las Antillas, donde los indios caribes fueron aniquilados en unos años, y en el Perú, donde los incas murieron por millones, bien bajo la espada de los conquistadores, bien de la enfermedad, o en el trabajo en las minas de metales preciosos.

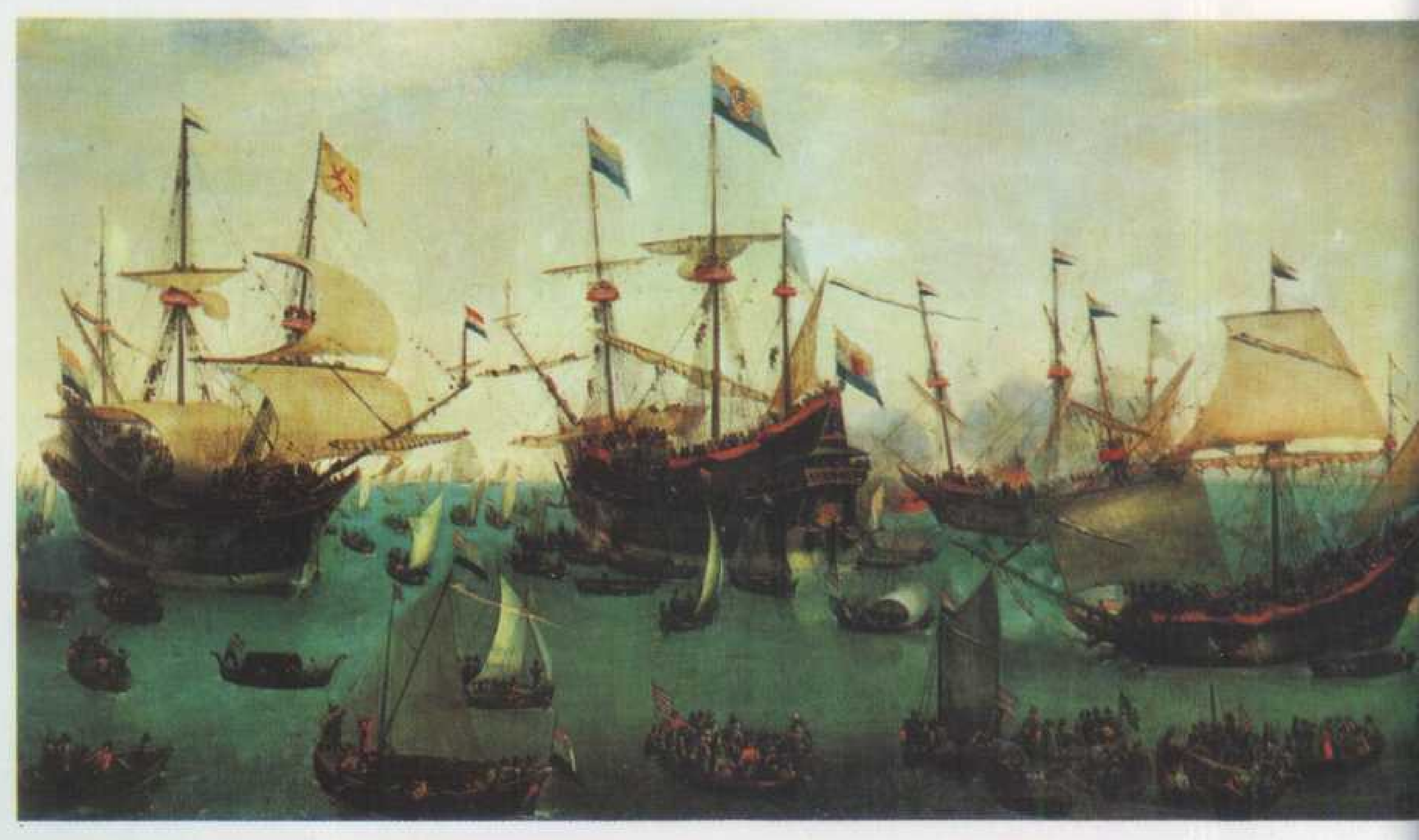
Los españoles organizaron su imperio en unidades políticas estrictamente definidas. En 1524 crearon en Sevilla un Consejo de las Indias Occidentales que se aprovechó del monopolio comercial con el Nuevo Mundo. El virrey de las Indias, establecido en Quito, pronto tuvo un considerable poder. La sociedad de los colonos ibéricos vivió espléndidamente, explotando el trabajo de los indígenas. Los misioneros se encargaron de destruir la cultura de estos últimos, prohibiendo su lengua y sus prácticas religiosas y quemando, por desgracia, sus libros sagrados. Nunca España, en toda su historia, alcanzó tan similar esplendor. La sobreabundancia monetaria debida al aflujo de oro del Nuevo Mundo, junto con la costumbre que nobles y burgueses adquirieron de menospreciar el trabajo manual, condujeron al país a una rápida decadencia. A principios del siglo XIX, sus colonias americanas se emanciparon inducidas por revolucionarios como Simón Bolívar. A los españoles no les quedaría más que la nostalgia de su pasado poder.



La ruta del oro. *Los galeones de la flota del oro española realizaban una o dos veces al año el peligroso viaje que los llevaba de América a los puertos de España. En la página anterior, arriba: una vista de Sevilla en el siglo XVII. En la misma página, abajo: una maqueta de galeón español de la flota del oro. En esta página, arriba: el mapa de las rutas comerciales españolas en el mar Caribe y el golfo de México. Aquí encima: un colgante en oro precolombino encontrado en Colombia. Aquí abajo, a la derecha: un grabado español representando a Nuestra Señora del Potosí; el manto de la Virgen se identifica con la famosa montaña de plata boliviana, donde trabajaban (y morían) miles de indios; abajo del grabado figuran el emperador Carlos V y el papa.*

Los comerciantes holandeses

El imperio holandés se constituyó en forma discreta pero eficaz. Los holandeses instalaron hábilmente sus colonias en los lugares que portugueses y españoles se disputaban. Para ello contaron con la rapidez de intervención de sus corsarios, tanto como con una organización siempre verdaderamente ejemplar.
La expansión holandesa se produjo en varios tiempos. Al principio, los comerciantes de Amsterdam y de los otros puertos de los Países Bajos se impusieron en el mar del Norte y en toda la parte septentrional de Europa. Los holandeses aprovecharon así la rivalidad existente entre franceses y españoles para controlar su territorio.
Los holandeses (y los ingleses) idearon una organización internacional del comercio marítimo basada en un cierto número de reglas respetadas por los estados concurrentes. No fue casualidad que el codificador del Derecho del mar fuera, a principios del siglo XVII, el holandés Hugo Grotius (De Groot). En cuanto a la Compañía Holandesa de las Indias Orientales, fue fundada en 1602. Su apoyo fue la colonia holandesa de Africa del Sur (Transvaal, Orange). Interesándose sobre todo en el comercio con el Extremo Oriente —y con las tierras de las especias que habrían de convertirse en el florón del imperio holandés: las islas de la Sonda—, cuidó de diversificarse, para lo cual buscó otras salidas, inquieta ante las maniobras de los ingleses en prácticamente todos los océanos. Así fue como los holandeses desplegaron su actividad en el océano Pacífico, descubriendo Australia, a la que muy al principio llamaron Nueva Holanda. Así fue, igualmente, como a principios del siglo XVII, se interesarían





por América del Norte, fundando Nueva Amsterdam, que se convertiría en Nueva York.

Los holandeses tuvieron, del siglo XVII al XIX, una actividad constante en todos los mares del mundo. La parte más rica de su imperio siguió siendo naturalmente el archipiélago de la Sonda —las Indias holandesas—, que sólo alcanzaría su independencia (con el nombre de Indonesia) después de la segunda guerra mundial. Pero otros territorios alimentaron también los mercados de Amsterdam, de Rotterdam y de La Haya, entre los cuales hay que citar a las Antillas holandesas (Curaçao, etcétera) y la Guayana holandesa (hoy Surinam).

Como los demás colonizadores del norte de Europa, los holandeses eran esencialmente protestantes, y la propagación de la fe reformada fue importante para los misioneros que acompañaban a los comerciantes. El esfuerzo militar de los holandeses fue menos importante que el de los franceses y los ingleses.



plato de la época Ming (siglo XVII)

tibor de la época Ming (siglo XV)

taza de estilo *tu ts'ai*

plato de la época K'angshi (1662-1722)

Los buenos negocios del mar. *El imperio colonial holandés, en el siglo XVII, se basaba esencialmente en el comercio. Los barcos de Amsterdam surcaban el océano Indico, negociaban en las islas de la Sonda, y llegaban hasta China. En la página anterior: dos pinturas representando barcos holandeses del siglo XVI (arriba) y del XVII (abajo). En esta página, de arriba abajo: el puerto de Rotterdam; la antigua Lonja de Amsterdam; y diversa loza china importada a los Países Bajos en los siglos XVII y XVIII.*

La Francia de ultramar

EN el siglo XVII, los holandeses y los ingleses habían sustituido un poco en todos los mares a los portugueses y los españoles, cuya irradiación colonial comenzaba a apagarse. Y entró Francia resueltamente en la partida. En realidad, para ella, todo había empezado en el siglo XVI, con la colonización de las Antillas (Santo Domingo, Martinica, etc.) y del Canadá, llamada entonces Nueva Francia. Los colonos partían tras la huellas de Jacques Cartier, el explorador de las bocas del San Lorenzo, y la de Samuel de Champlain, el fundador de la ciudad de Quebec. Los franceses habían comenzado igualmente a instalarse en las sucursales comerciales del Africa Negra (Senegal, etc.).



En realidad, desde el siglo XVII, se entabló una lucha sin cuartel entre Francia e Inglaterra por el dominio de América del Norte. Ambos países se enfrentaron en Terranova, a lo largo de las orillas del San Lorenzo, etc. Mientras que Inglaterra establecía colonias al este de lo que sería Estados Unidos (en Nueva Inglaterra), Francia enviaba colonos al Canadá (Nueva Francia); luego, cuando Robert Cavelier de La Salle hubo descendido el Mississippi, pobló un poco Luisiana. Pero los colonos ingleses eran más numerosos que los franceses; cuando estalló la guerra en el Canadá, las tropas francesas del marqués de Montcalm fueron finalmente derrotadas (batalla de las llanuras de Abraham) y Francia tuvo que retirarse prácticamente del Nuevo Mundo (Tratado de París, 1763). Los ingleses vencedores impusieron a los colonos de Acadia un doloroso éxodo hacia Luisiana, conocido con el nombre de «Gran Desorden». Por la misma época, bajo Luis XV, los franceses se enfrentaban a los ingleses en la India, y allí también conocieron la derrota. Los franceses tuvieron que conformarse con buscar otros territorios para colonizar. Acentuaron su avance en Africa, donde también allí se enfrentarían con los británicos. Colonizaron las islas del océano Indico, Madagascar, las Seychelles, las Mascareñas (La Reunión —antigua isla Borbón— les siguió perteneciendo; pero la isla de Francia se convirtió en isla Mauricio, bajo dominación británica, después de 1814). Los navegantes franceses del siglo XVIII (Bougainville, La Pérouse, y otros menos conocidos) hicieron posible igualmente la instalación de los franceses en los archipiélagos que salpican el Pacífico.



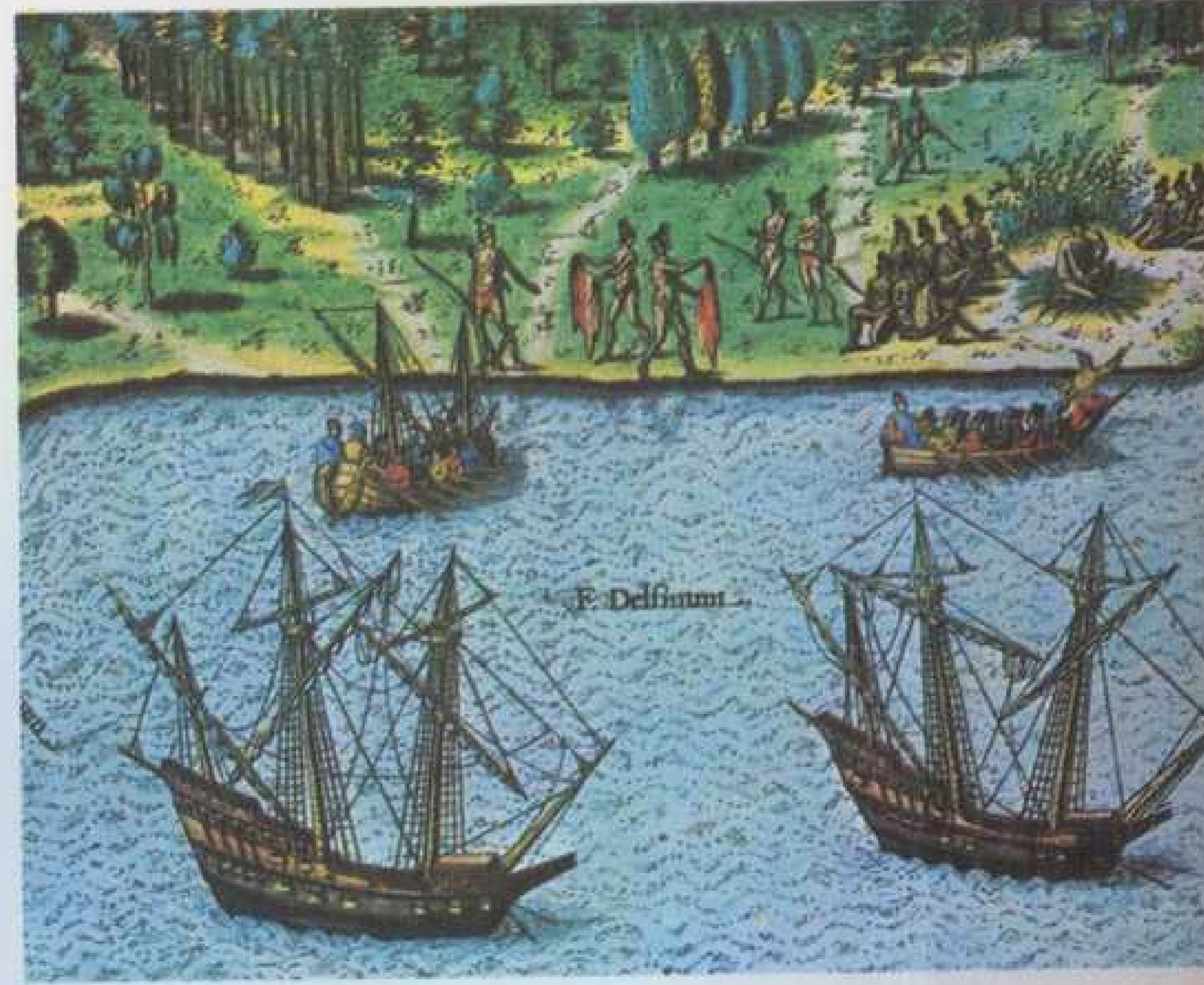


Los franceses en América. *Jacques Cartier y luego Samuel de Champlain fundaron las colonias de Nueva Francia (el Canadá). Robert Cavelier de La Salle fue el primero en descender el Mississippi y tomó posesión de la cuenca de este río para el rey Luis XIV. Pero Nueva Francia y Luisiana fueron pobladas muy lentamente, y no llegaron a alcanzar gran densidad, lo que explica que los ingleses pudieran doblegar a los franceses. En la página anterior: arriba, confraternizando con los indios; abajo, en guerra contra ellos. En esta página, aquí al lado: la fundación de la villa de Quebec por Champlain en 1608. Abajo, a la derecha: dos miniaturas mostrando la llegada de colonos franceses a Carolina, en 1594.*



Francia tuvo un nuevo gran período colonizador en los años 1830, cuando el rey Carlos X envió sus tropas a Argelia. Poco a poco extendió su dominio sobre otros territorios del Magreb, concretamente sobre los cercanos Marruecos y Tunicia, convirtiéndolos en protectorados, y a continuación se ocuparon grandes espacios en el desierto del Sáhara, y en la zona situada inmediatamente más al sur: el Sahel. En 1880, los franceses acabaron también por establecerse en el Sudeste Asiático, adueñándose de lo que hasta 1954 sería la Indochina francesa (Laos, Vietnam, Camboya).

Si se compara el colonialismo francés con el inglés, se comprueba una diferencia esencial: los franceses no poblaron nunca masivamente los territorios que administraron. Esto fue fatal para el Canadá y la India, donde perdieron la guerra por su inferioridad numérica. El Canadá, no obstante, comprende hoy una numerosa comunidad francófona, descendientes de los primeros compañeros de Jacques Cartier, de Samuel Champlain y de sus sucesores. El único país donde se pobló masivamente fue Argelia. Las circunstancias no quisieron que colonos y musulmanes pudieran vivir en buena paz y compaña: la intransigencia de la mayoría de los primeros constituyó la causa esencial de este divorcio histórico, que una mejor política de asimilación habría podido por lo menos hacerlo menos trágico.



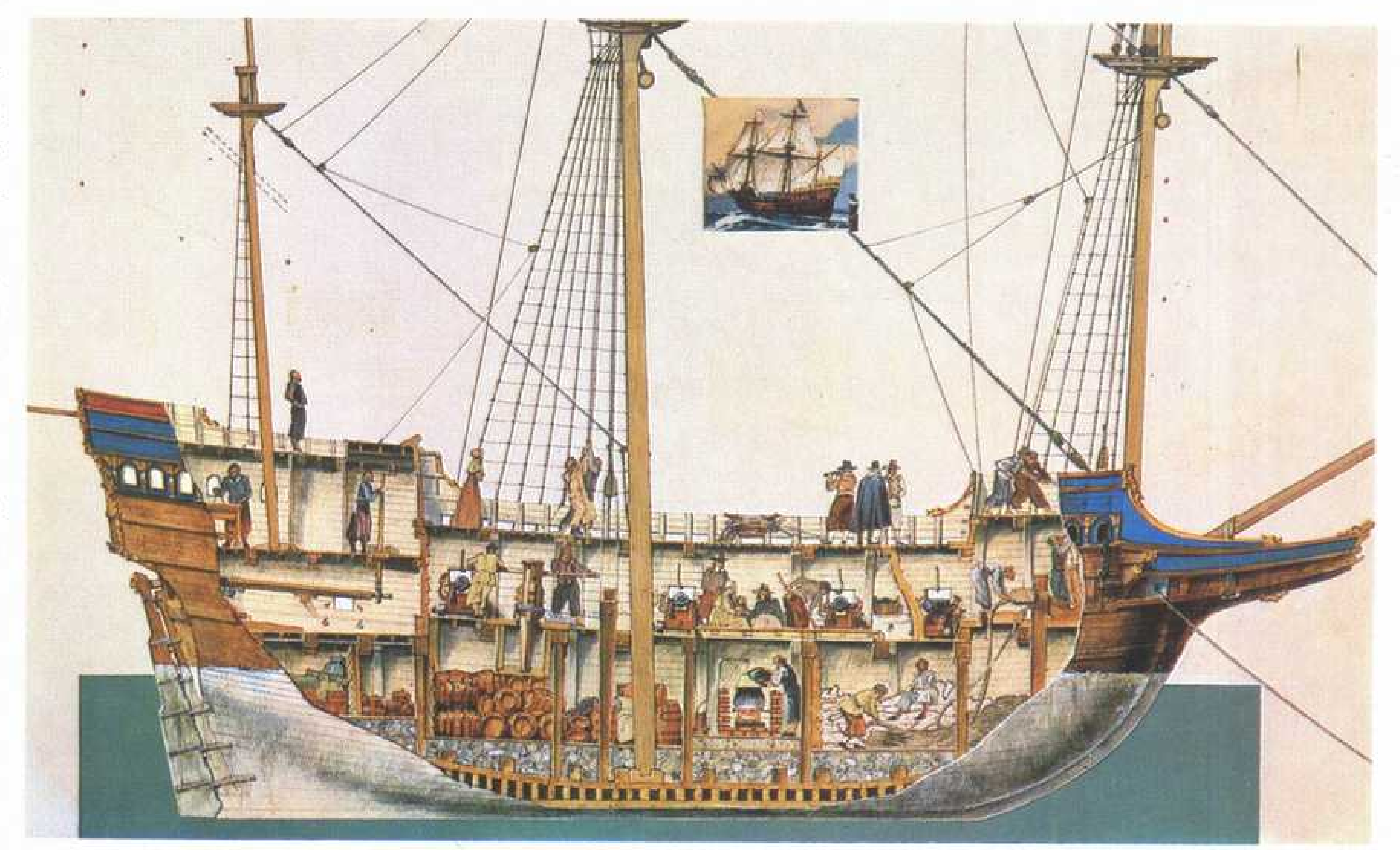



El imperio británico

INTERESÁNDOSE prontamente por las cosas del mar, Inglaterra se convirtió ya a principios del siglo XVI en una potencia naval de primer orden. Y así imperaría sobre los océanos casi sin competencia durante la totalidad del siglo XIX. Los navegantes británicos (sir Walter Raleigh, etc.) fueron, después de la época de los conquistadores españoles y portugueses, los grandes artífices del descubrimiento de la Tierra por los europeos, junto con los franceses y holandeses. La expansión británica allende los mares comenzó verdaderamente a principios del siglo XVII, con la llegada al Nuevo Mundo de los peregrinos del *Mayflower*, que desembarcaron en Virginia en 1620 y fundaron la primera de las trece colonias que darían ulteriormente origen a los Estados Unidos de América. En este continente, los británicos lograron doblegar a los franceses. Pero también sufrieron la primera guerra de descolonización de la historia moderna: la guerra de Independencia americana (la independencia de Estados Unidos de América fue proclamada

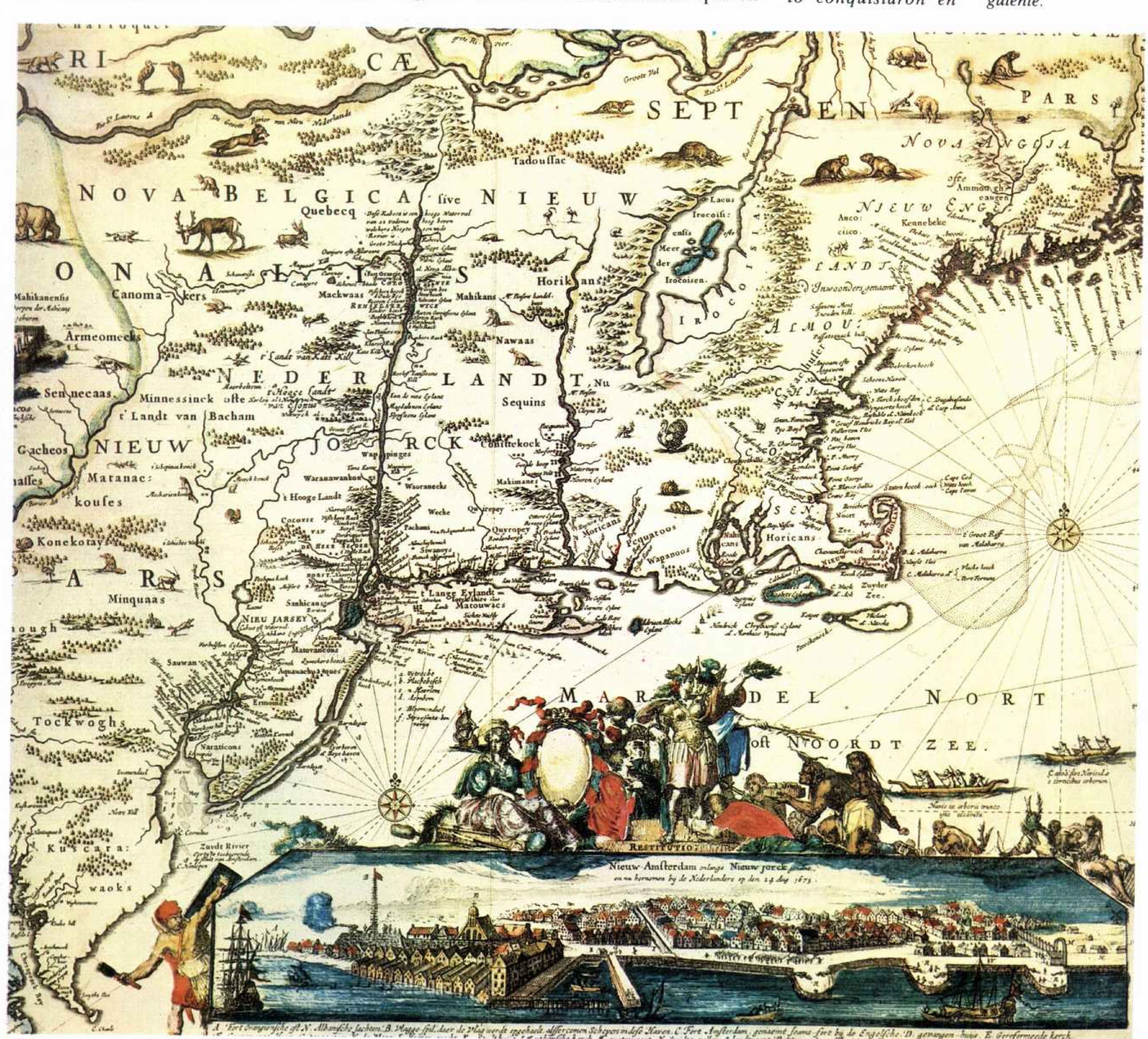
Las Indias occidentales. *Los ingleses crearon la Nueva Inglaterra en el siglo XVI (mapa de la época, arriba). El* Mayflower, *transportando a los Padres Peregrinos, llegó a Virginia en 1620 (abajo).*

Las Indias orientales. *Los ingleses fundaron en la India una próspera colonia. En la página siguiente, arriba: el puerto de Bristol, en el siglo XVII; abajo: descargando balas de algodón hindú en Londres.*





en 1766, y se hizo efectiva en el tratado de Versalles firmado en 1783).
En Africa, los ingleses establecieron rápidamente sucursales, que les sirvieron sobre todo de reservas de «madera de ébano», esto es, de esclavos negros. Estableciéndose en gran número en Africa del Sur, donde se enfrentaron a los colonos holandeses (esta guerra larvada acabó en conflicto abierto cuando la guerra de los Boers, que terminó en 1902 con la victoria de los ingleses). En Africa, los intereses franceses e ingleses chocaron a menudo, y en el siglo XIX se asistió, por así decir, a un reparto del continente entre las dos potencias: los franceses al oeste (pero no, entre otras grandes excepciones, en Nigeria); y los ingleses al este (pero Madagascar siguió siendo francesa).
La India, después de la derrota francesa en que desembocó la guerra de los Siete Años y arruinó la obra de Dupleix, se convirtió en la joya más preciada de la corona británica. Esta tierra rica y poblada fue el ejemplo del modo de colonización británico, en lo que tenía a la vez de flexible (se supo jugar hábilmente con las disensiones entre los poderosos locales) y de despiadado (la represión de la rebelión de los cipayos, en 1857-1858, fue de una terrible violencia).
Los británicos organizaron su inmenso imperio como un solo organismo. Las órdenes las daba Londres, y sus principales riquezas llegaban a Inglaterra.
Pero mantener tan vasto poderío no dejaba de resultar difícil. Al no consentir en abandonar la menor parcela de autoridad en sus territorios de ultramar durante el siglo XIX, los británicos tuvieron que enfrentarse a problemas insolubles de gestión después de la segunda guerra mundial. Transformando su imperio en Commonwealth, mantuvieron para sí algunas colonias (Gibraltar, Hong-Kong, Malvinas, etc.) y algunos protectorados (Brunei, islas Salomón), concediendo la independencia a casi todos los demás territorios (India, Ceilán, Birmania, Canadá, países de Africa negra, etc.).



Nueva Amsterdam. *Los holandeses fundaron Nueva Amsterdam en la desembocadura del río Hudson. Pronto, este puerto del Nuevo Mundo cobró una importancia decisiva. Los ingleses lo conquistaron en 1664 y lo rebautizaron como Nueva York. Los holandeses lo recuperaron en 1673 (fecha de la que data el mapa de abajo), pero tuvieron que cederlo definitivamente a los británicos al año siguiente.*



Las grandes batallas navales

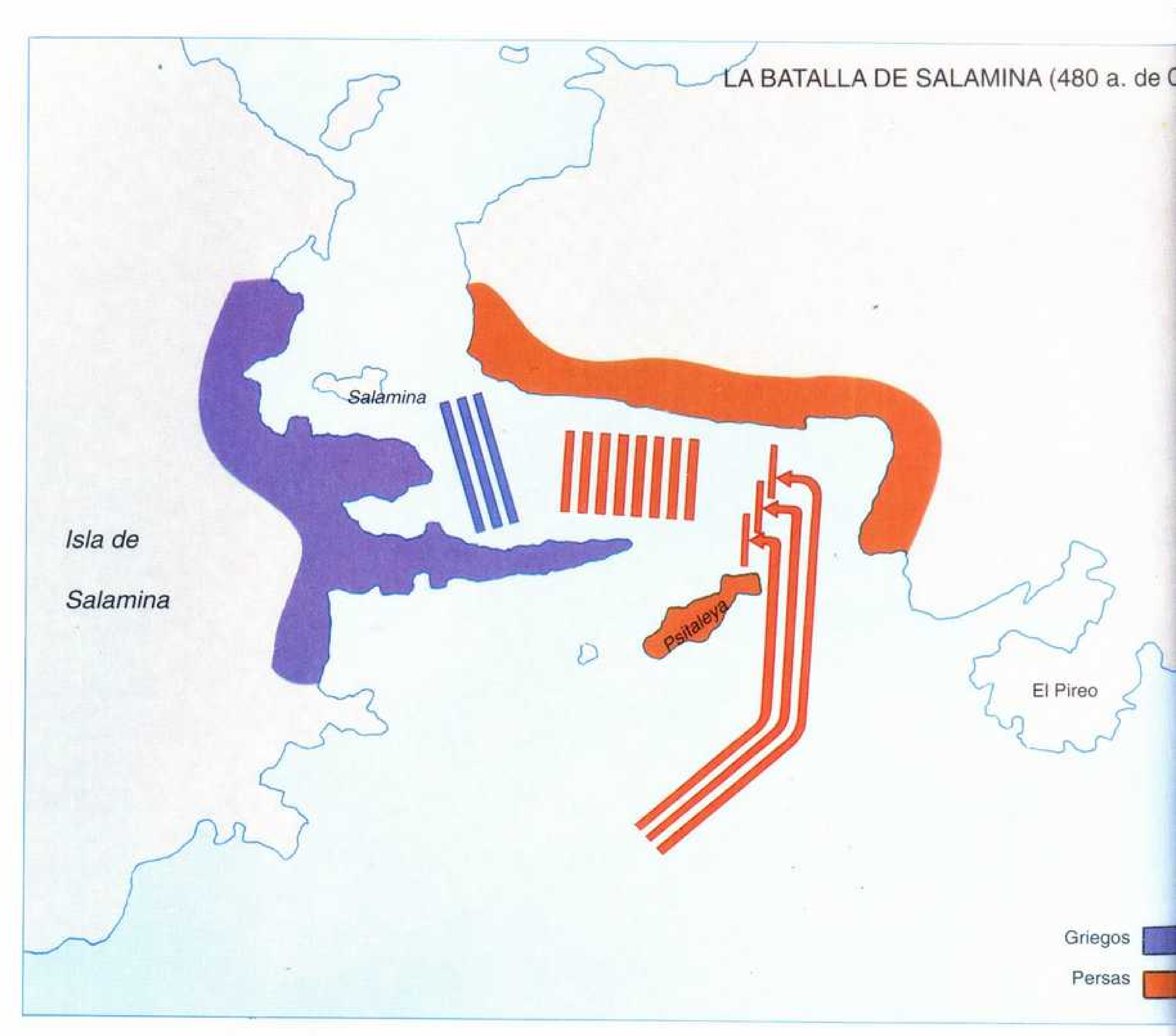
Enfrentamiento de trirremes en Salamina

LAS guerras tienen con frecuencia incalculables consecuencias. La batalla naval que, en septiembre del año 480 a. de C., se desarrolló no lejos del islote de Salamina dio un golpe de muerte a la expansión persa, y marcó, en cambio, el arranque del esplendor griego. Y no olvidemos que esta civilización condicionó no sólo el futuro de la Europa mediterránea, sino de toda la humanidad posterior.

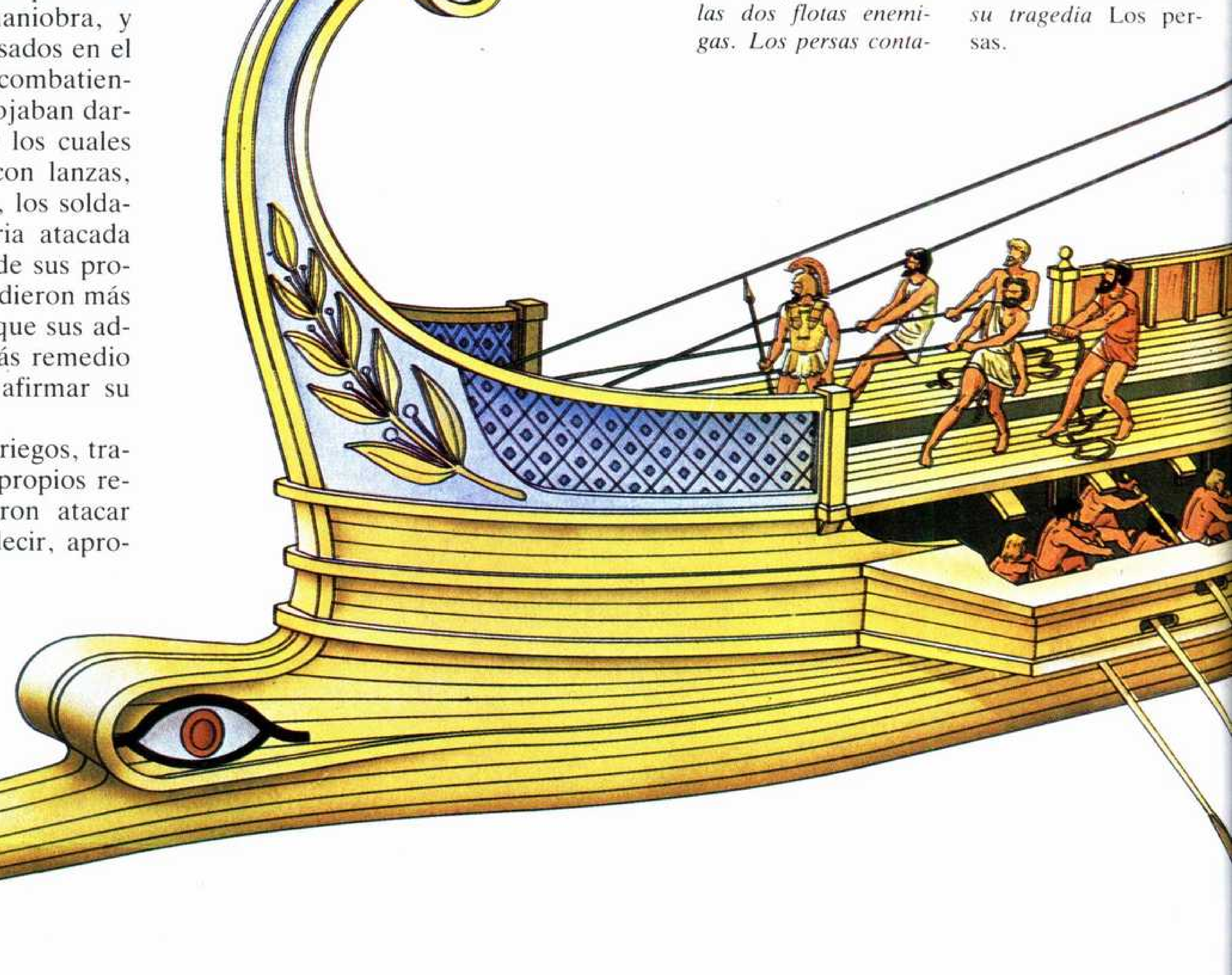
Los griegos fueron conducidos ante Salamina por un espartano llamado Euribíades y por el general ataniense Temístocles. Su flota estaba compuesta por algo más de trescientas naves. La flota persa contaba con un millar. Pero los barcos griegos llevaban la ventaja, por tres razones. En primer lugar, eran más pequeños que las embarcaciones enemigas, por lo que maniobraban mejor en el estrecho canal de Salamina, poco propicio para desenvolverse un conjunto de 1.000 galeras. En segundo lugar, los griegos contaban con la excepcional sabiduría militar de Temístocles. En tercer lugar, los griegos tenían galeras más «compactas», mejor armadas, más sólidas, y en gran medida debieron su victoria a su superioridad en las maniobras de abordaje.

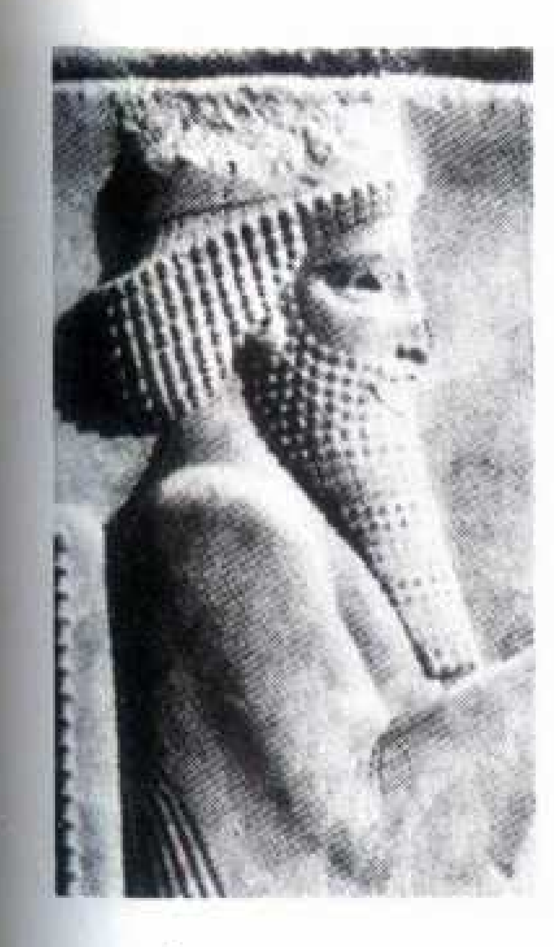
Las naves de las dos flotas enfrentadas eran todas galeras trirremes de 35 a 45 metros de eslora, accionadas (como su nombre indica) por tres filas de remeros. La velocidad de ejecución fue un elemento crucial: cuanto más rápido se iba a abordar al enemigo, menos tiempo tenía éste de intentar una contramaniobra, y más graves eran los daños causados en el casco. A corta distancia, los combatientes, de pie en el puente, se arrojaban dardos. Había abordajes durante los cuales se luchaba cuerpo a cuerpo con lanzas, hachas, espadas. En Salamina, los soldados griegos defendían su patria atacada por los persas, a unas brazas de sus propias costas. Puede decirse que dieron más pruebas de valor e intrepidez que sus adversarios. Pero no tuvieron más remedio que entrar en combate para afirmar su superioridad.

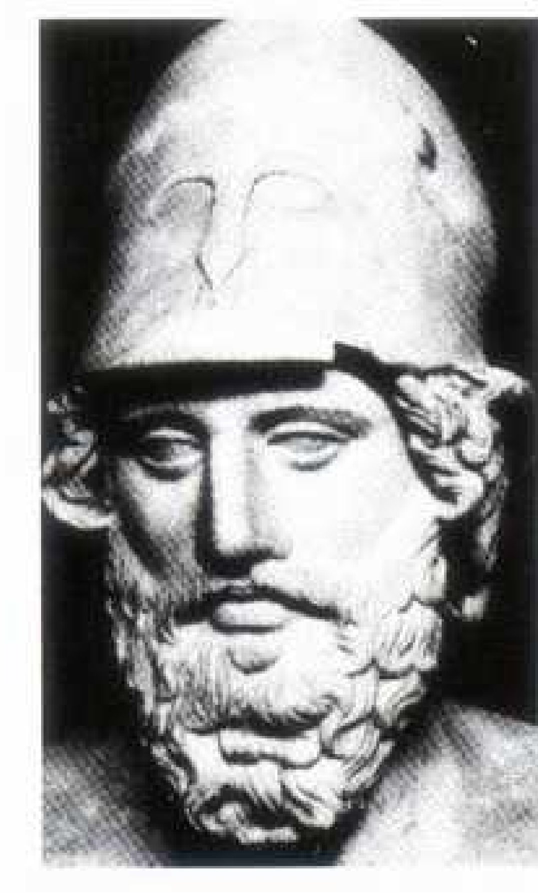
Los persas, como los mismos griegos, trataron de sacar partido de sus propios recursos. Los primeros intentaron atacar masivamente al enemigo, es decir, apro-



Los griegos y los persas. *La gran batalla naval que se llevó a cabo en el 480 a. de C., entre la flota persa mandada por Jerjes y la flota confederada griega a las órdenes de Temístocles, tuvo por escenario el estrecho que separa el Atica de la isla de Salamina. El mapa de encima muestra las posiciones de las dos flotas enemigas. Los persas contaban con un millar de navíos —los griegos sólo con una tercera parte de esta cifra—, pero las galeras eran más manejables, y se alzaron con la victoria. Esquilo hizo de esta batalla el tema de su tragedia* Los persas.







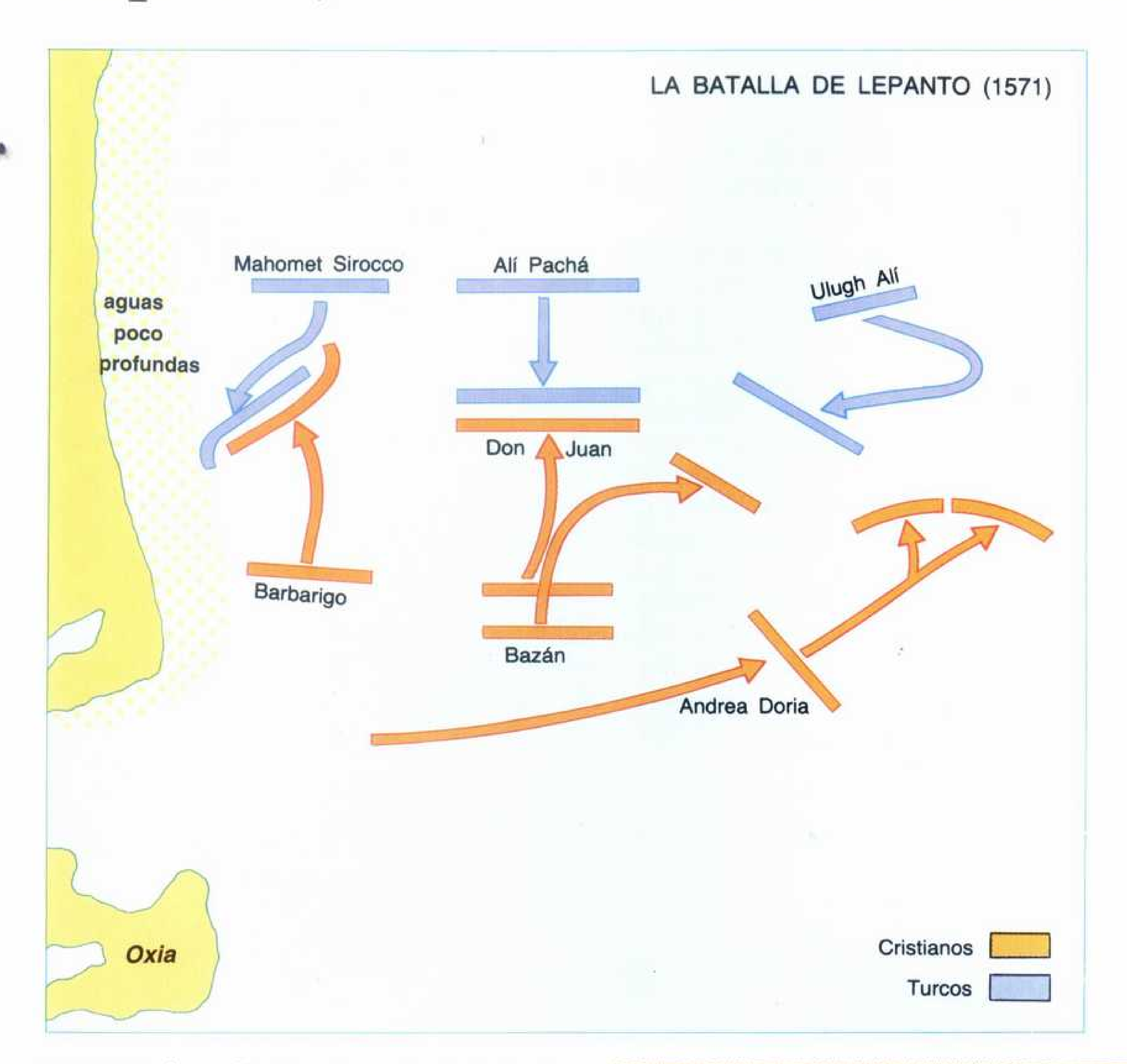
Los trirremes griegos. *Aquí encima, a la izquierda, Jerjes, el rey de reyes; a la derecha: Temístocles. El dibujo de abajo representa una galera griega trirreme, es decir, de tres filas de remeros. Se trataba de barcos de gran tamaño, largos, estrechos y maniobrables, con una dotación de unos 200 hombres. El mástil podía estar provisto de una vela, pero se podía también abatir y contar sólo con los remos (lo que se hacía cuando había que enfrentarse al enemigo). La proa estaba armada con un espolón metálico que servía para atacar a las naves adversarias. En la popa arbolaba a veces una decoración hecha de cuatro o cinco ejes en abanico, llamada aplustre. El timón estaba constituido por dos grandes remos dispuestos a una y otra parte del casco, en la popa.*

vechar su superioridad numérica. Su gran rey Jerjes, sentado en un trono de oro en su campamento en tierra firme, había dado órdenes en este sentido. Pero los acontecimientos no se desarrollaron como él había previsto.

La flota griega en su primer momento rehuyó el combate, esquivándolo mientras navegaba hacia el norte. Los persas creyeron que en verdad salían huyendo. Pero era una trampa: Euribíades y Temístocles querían atraer a los trirremes persas a las zonas más angostas del estrecho de Salamina, a fin de contrarrestar la superioridad en número al dispersarlos. Al desparramar las cerradas formaciones de la flota de Jerjes, los griegos saltaron de detrás de los islotes del paso. Al principio de la acción, los persas habían alineado sus galeras en tres filas. Tuvieron que dejar sólo dos en el estrecho. Los rápidos barcos griegos sembraron la confusión en la flota de Jerjes. Los griegos se aseguraron casi inmediatamente el dominio del islote Psitaleya, a donde pudieron llevar sus barcos dañados.

Después de ocho horas de combate naval en las aguas estrechas de Salamina, los persas habían perdido 200 galeras, mientras que los griegos sólo habían perdido cuarenta. Los persas estaban derrotados. El poeta trágico Esquilo se contaba entre los combatientes griegos. Muchos años después trató magníficamente del desastre de los ejércitos de Jerjes en su obra *Los persas,* cuya derrota cuenta así en boca de un guerrero persa: «Las carenas chocaban entre sí; eran tantos los cuerpos y los restos de madera, que apenas se veía el mar: la playa y las rocas estaban cubiertas de cadáveres; en cuanto a las naves bárbaras restantes, emprendieron la huida indecentemente. Pero estaban prisioneras como atunes u otros peces en una nasa; los supervivientes fueron aniquilados a golpes de remos, y la carnicería duró hasta que las tinieblas de la noche nos impidieron ver. Pero no podría decirte, ¡oh reina!, todo el sufrimiento y desgracia de los persas, aunque estuviera diez años contándotelo. Sábete solamente esto: jamás fueron muertos en una sola jornada tan gran número de hombres.»

Lepanto, la derrota de los infieles





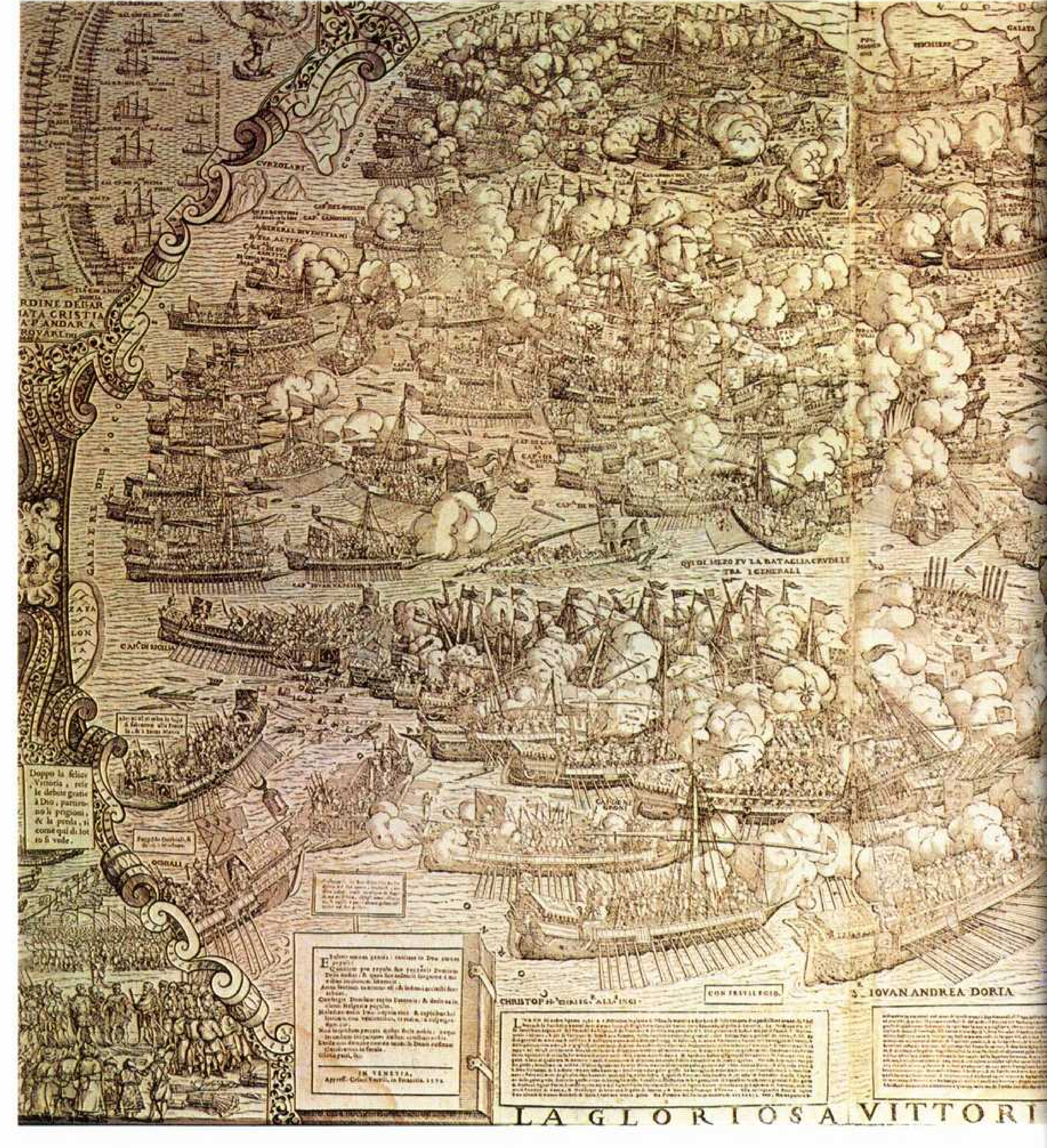


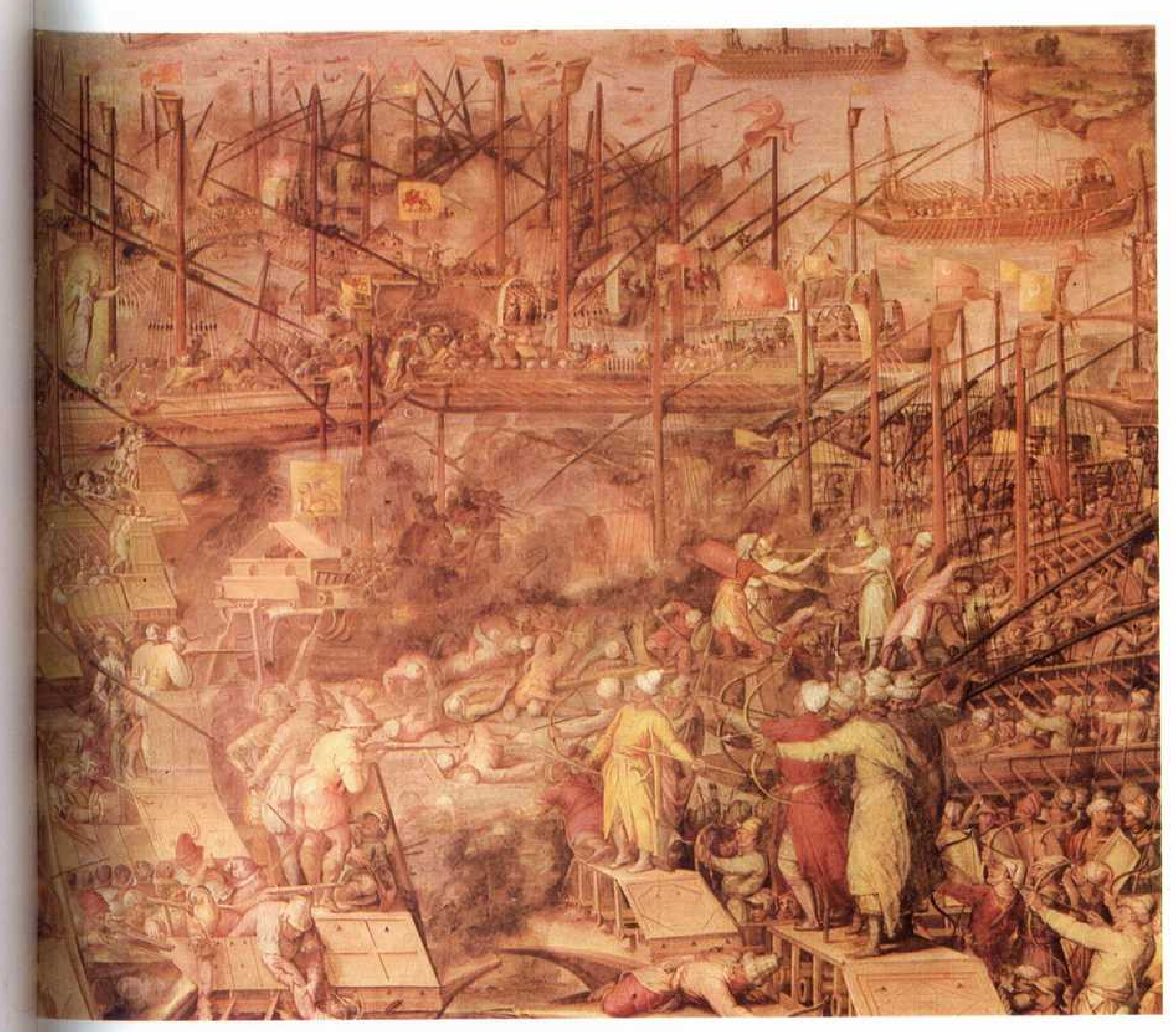
Unos dos mil años después de la batalla de Salamina, otra importantísima confrontación naval tuvo lugar no lejos de las costas de Grecia. Como los protagonistas de Salamina, los de Lepanto, en 1571, utilizaron barcos de remos. Los cristianos, a las órdenes de don Juan de Austria, eran soldados y marineros de España, Venecia, de la casa de Saboya, de Malta y de los Estados Pontificios. Disponían de 208 galeras, 24 grandes navíos de transporte, 50 barcos ligeros de remos, y ocho galeones pesados, cuyo papel habría de revelarse determinante. Los turcos, a cuyo mando estaba Alí Pachá, tenían en total una flota de 300 galeras y galeazas.

Las galeras tenían como misión alcanzar al adversario; luego, una vez lanzados los garfios, el abordaje y el cuerpo a cuerpo comenzaban. La batalla demostró que esta estrategia clásica estaba ya superada, puesto que los barcos, frente a frente, poseían una importante fuerza de fuego. Las galeras estaban dotadas de un pequeño cañón, pero únicamente en la proa, y sólo podían hacer fuego de frente. Las galeazas cristianas eran diferentes: estaban equipadas con 40 bocas de fuego dispuestas en su flancos, capaces de disparar en todas las posiciones.

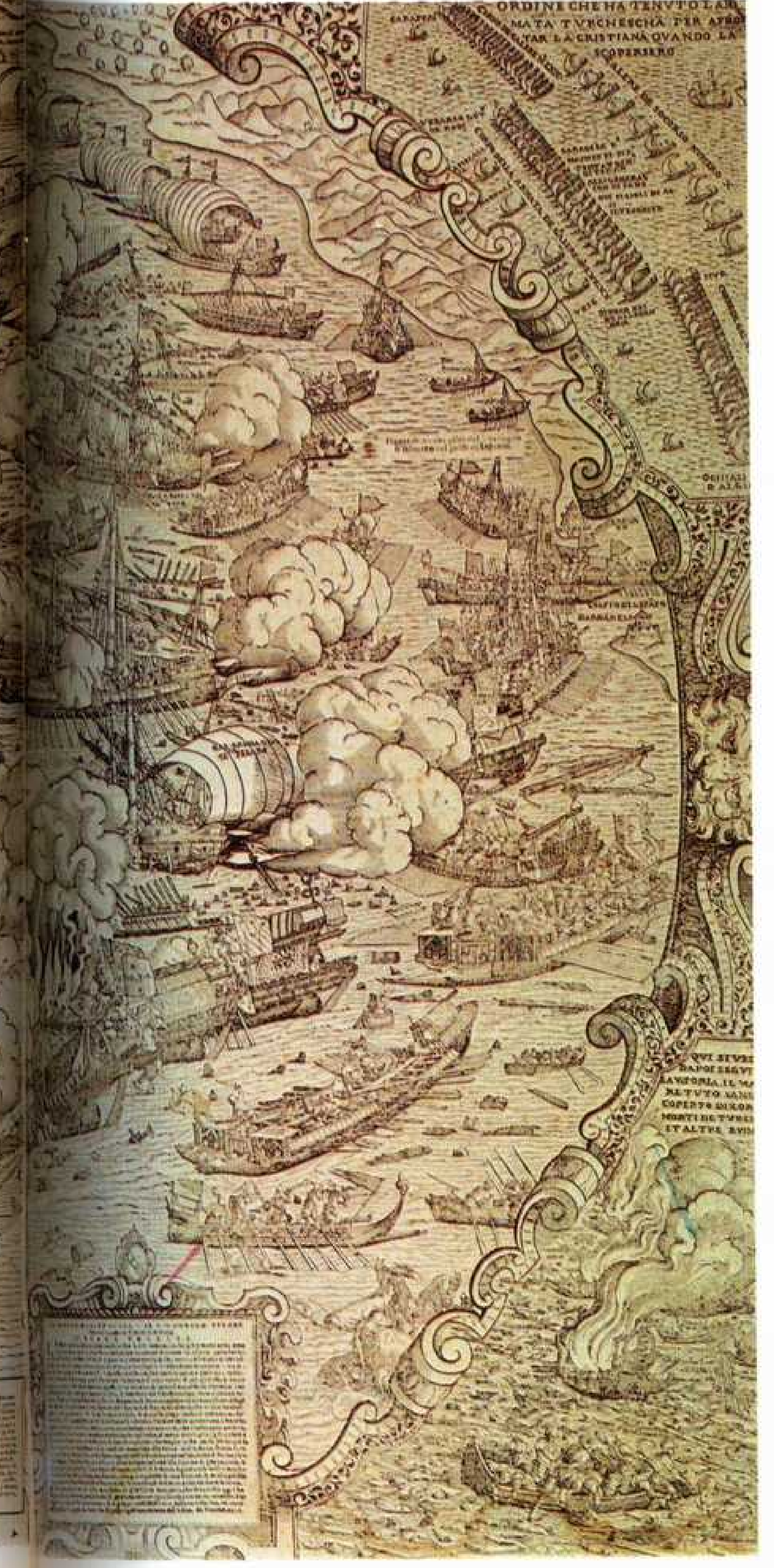
Las razones del conflicto eran a un tiempo económicas y religiosas. Los mahometanos no sólo se habían apoderado de Tierra Santa, esto es, tenían sometida a toda la franja oriental de la cristiandad, sino que también habían cometido el pecado de perturbar el comercio florenciente de los grandes puertos europeos. La campaña emprendida contra los turcos y sus aliados musulmanes de Africa del Norte fue planificada muy eficazmente en Europa, e involucró a varias naciones. Sin embargo, a oídos de los turcos llegó lo que se tramaba contra ellos, y atacaron primero.

Uniéndose en Creta a sus correligionarios magrebinos, penetraron en el mar Adriático en la primavera de 1571, y comenzaron a hostigar a los venecianos. A finales del verano de ese año, la flota

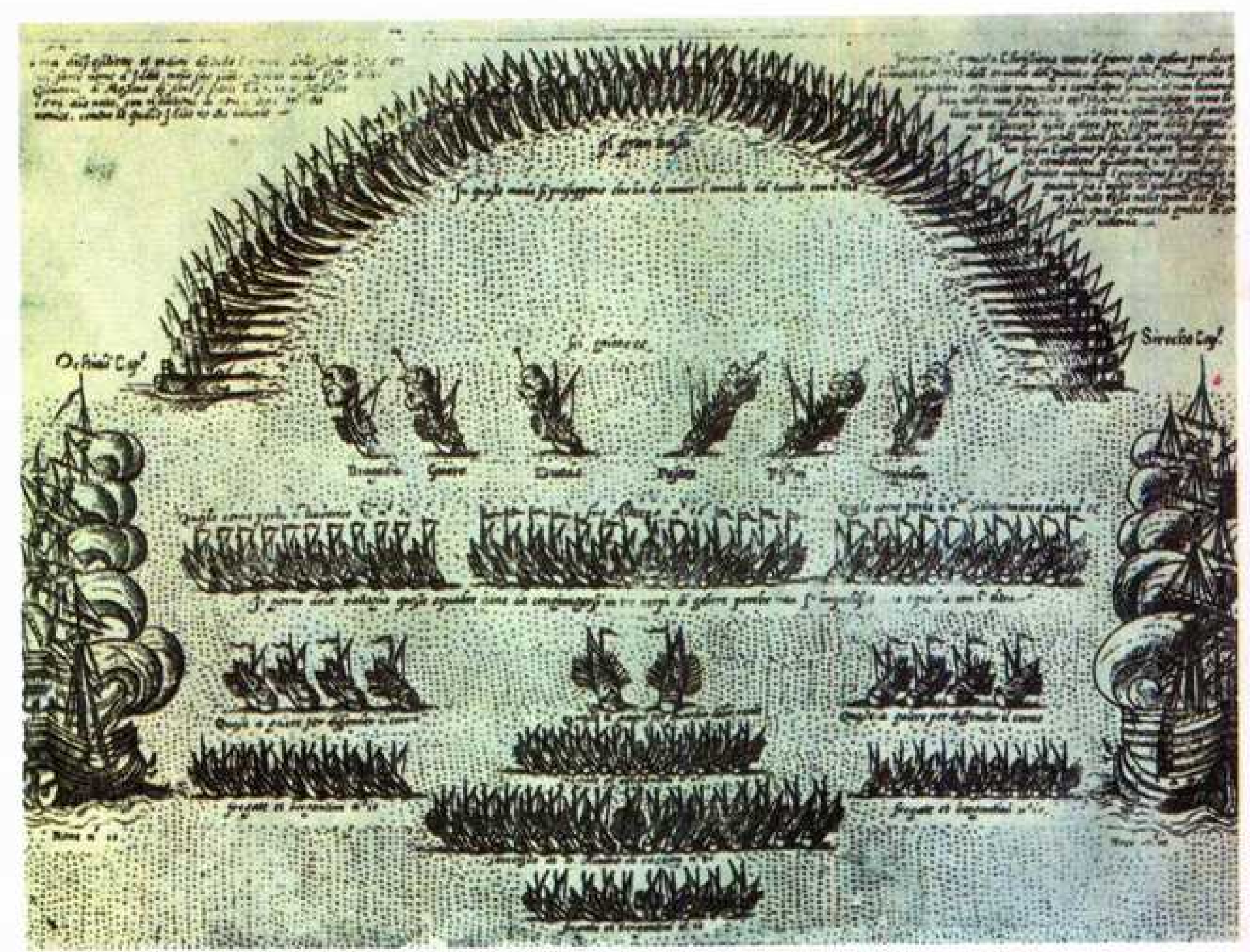




estaban divididas en tres unidades principales. Las galeazas cristianas se encontraban en una posición a la vanguardia de las fuerzas de Don Juan de Austria.
La batalla empezó verdaderamente el 10 de octubre por la mañana, cerca de la orilla. Los primeros intercambios de fuego decidieron de hecho el resultado de la confrontación: las galeras turcas, apretadas entre sí en su desplazamiento hacia el norte, constituyeron un blanco fácil para los cañones de las gaelazas.
Otro elemento importante de la victoria de los cristianos hay que buscarlo en la potencia de su nave almirante. Los soldados de Don Juan se engancharon estrechamente con los garfios al barco del almirante turco, y lo echaron a pique al cabo de hora y media. Hacia la una y media de la tarde, Alí Pachá fue decapitado, y los cristianos, amos del combate cuerpo a cuerpo, tuvieron la partida definitivamente ganada. Los últimos elementos de la flota turca aún con posibilidades de combatir llegaron demasiado tarde para salvar a su almirante, y la batalla concluyó a las cuatro de la tarde, después de ocho horas. Los cristianos perdieron 8.000 hombres, los turcos 25.000. Cerca de 15.000 esclavos cristianos fueron liberados.



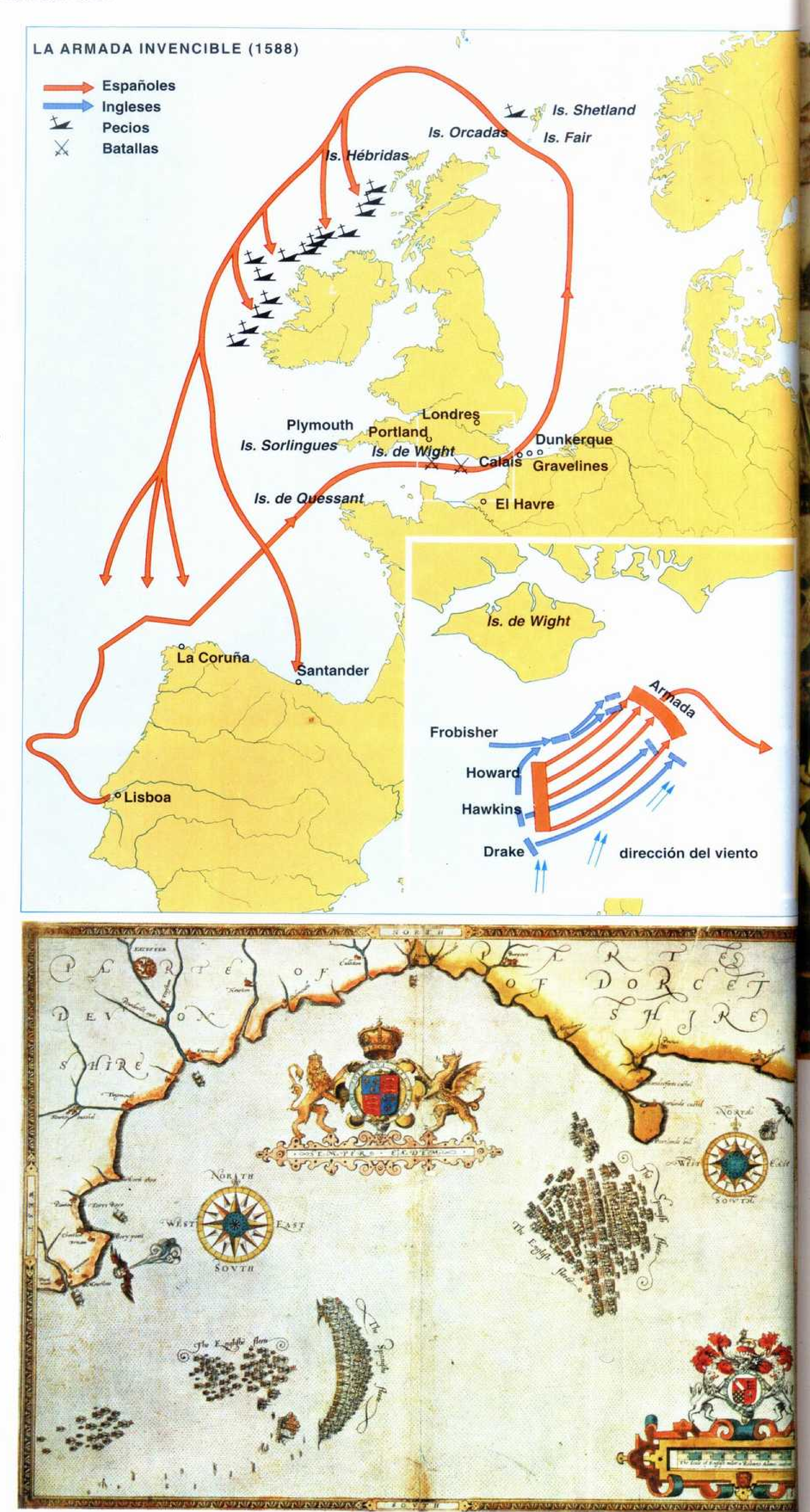
En nombre de Dios. *En Lepanto se enfrentaron cristianos y musulmanes. Arriba, y aquí a la izquierda: dos vistas de la batalla, por artistas cristianos. Aquí, a la derecha, y en la página anterior, arriba: una antigua representación y otra moderna de la posición de las fuerzas. Los dos retratos de la página anterior muestran, a la izquierda, al comandante en jefe de la flota cristiana, Juan Andrea Doria, y a la derecha, al papa Pío V.*



cristiana, esencialmente veneciana, acabó de constituirse en Mesina.
Cuando estuvieron al completo, las naves transportaban entre 30.000 y 80.000 hombres. Se hicieron a la mar el 16 de septiembre, pero encontraron viento en contra que las retrasó, impidiéndoles remontar a lo largo de las costas de Calabria. Sin embargo, llegaron a la isla de Corfú diez días después.
Once días pasarían todavía antes de que ambas flotas se encontraran frente a frente, ante las costas de Skrofa, esto es, al norte del golfo de Patras. Y se iniciaron las primeras escaramuzas. Ambas flotas

Para Turquía, Lepanto representó un golpe mortal; deteniéndose la expansión de este país en la Europa oriental. Naturalmente, los piratas berberiscos continuaron asolando todavía mucho tiempo más y sembrando el terror en el Mediterráneo. Más adelante, en la batalla de Candía (1669), los turcos se tomarían la revancha.
Entre las tropas españolas combatió en Lepanto un personaje célebre, Miguel de Cervantes, que fue herido en la batalla, y pasaría cinco años prisionero de los berberiscos antes de volver a España y escribir *Don Quijote*.

La Armada Invencible



EN 1588, la destrucción de la Armada Invencible de la católica España por la flota británica protestante marcó un nuevo acontecimiento capital en la historia de la marina, lo mismo que en toda la historia. Ello ocurrió en el canal de la Mancha, no lejos de la isla de Wight. Los galeones rápidos demostraron su superioridad sobre los grandes veleros difícilmente maniobrables. Pero también las condiciones atmosféricas jugaron un papel determinante...

Inglaterra era una potencia en pleno ascenso. La reina Isabel I, aun multiplicando las pruebas de aparente buena voluntad respecto de Felipe II (que acababa de subir al trono), animaba bajo mano a los piratas, así como a los corsarios berberiscos. Estos atacaban a los barcos de la flota española, potentes pero pesados.

La cosa fue a más. El primer enfrentamiento importante entre las dos potencias tuvo lugar cuando sir Francis Drake llegó a incendiar las galeras de Felipe II en el puerto mismo de Cádiz, hecho que le valió el sobrenombre de «quemador de la barba del rey de España». Este último, a pesar de las «excusas» de Isabel I, no digirió la afrenta, y se impuso el dotar a su país de una flota poderosa, capaz de dar un escarmiento a Inglaterra. Los ingenieros navales españoles habían comprobado ya que las galeras eran impotentes ante los galeones a vela ingleses. Construyeron también galeones, pero más grandes. La expedición de Cádiz había sido oficialmente cerrada, pues Isabel I sostuvo que se trataba de un golpe de mano de los piratas que ella no controlaba; y Felipe II simuló que se tragaba la añagaza. Pero en un año hizo construir 65 galeones... Estos, acompañados de barcos de avituallamiento y de diversas galeras, constituyeron la Armada Invencible, que se hizo a la mar en mayo de 1588 y puso proa hacia el canal de la Mancha.

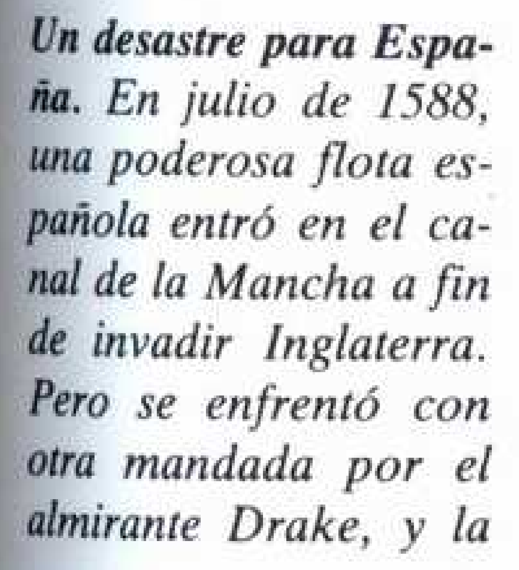
La flota inglesa, perteneciente casi toda ella a armadores privados, compuesta por numerosos barcos de piratas muy bien entrenados en el combate, era inferior a la española en número y en potencia de fuego. Estaba constituida por 25 galeones de poco tamaño y otros 40 barcos de combate.

Los cañones ingleses eran igualmente menos numerosos que los españoles, pero tenían mayor alcance, y como los barcos que los transportaban eran más manejables, conservaron la ventaja. Pero la principal fuerza británica estaba ciertamente en la costumbre que capitanes, marineros y soldados de la flota británica tenían de dar la batalla en el mar.

El 20 de julio de 1588, la flota inglesa







Un desastre para España. *En julio de 1588, una poderosa flota española entró en el canal de la Mancha a fin de invadir Inglaterra. Pero se enfrentó con otra mandada por el almirante Drake, y la mayoría de los barcos naufragaron en una tempestad. Arriba: el rey Felipe II de España, y la reina Isabel I de Inglaterra. En la página anterior, arriba: el itinerario seguido por la Armada.*

zarpó de Portsmouth para dirigirse al oeste, al encuentro de la Armada Invencible, que había entrado en el canal de la Mancha el día anterior.

Durante cinco días, la flota española, con un total de unos 130 barcos, avanzó desplegada en herradura. Los ingleses nunca le hicieron frente: la hostigaron por los lados, aprovechando la rapidez de sus galeones.

No podría decirse que, a pesar de esta guerrilla naval, los británicos se habían alzado ya con la victoria, si no se hubieran producido, el 29 de julio, dos acontecimientos importantes. La flota española llegó al límite de sus reservas de municiones; y el tiempo, hasta entonces claro, comenzó a cambiar. Un viento violento obligó a los españoles a huir hacia el norte, y franquear el paso de Calais. La intención de los jefes de la Armada Invencible era clara: querían contornear las islas Británicas por el norte, y volver a la carga por el oeste.

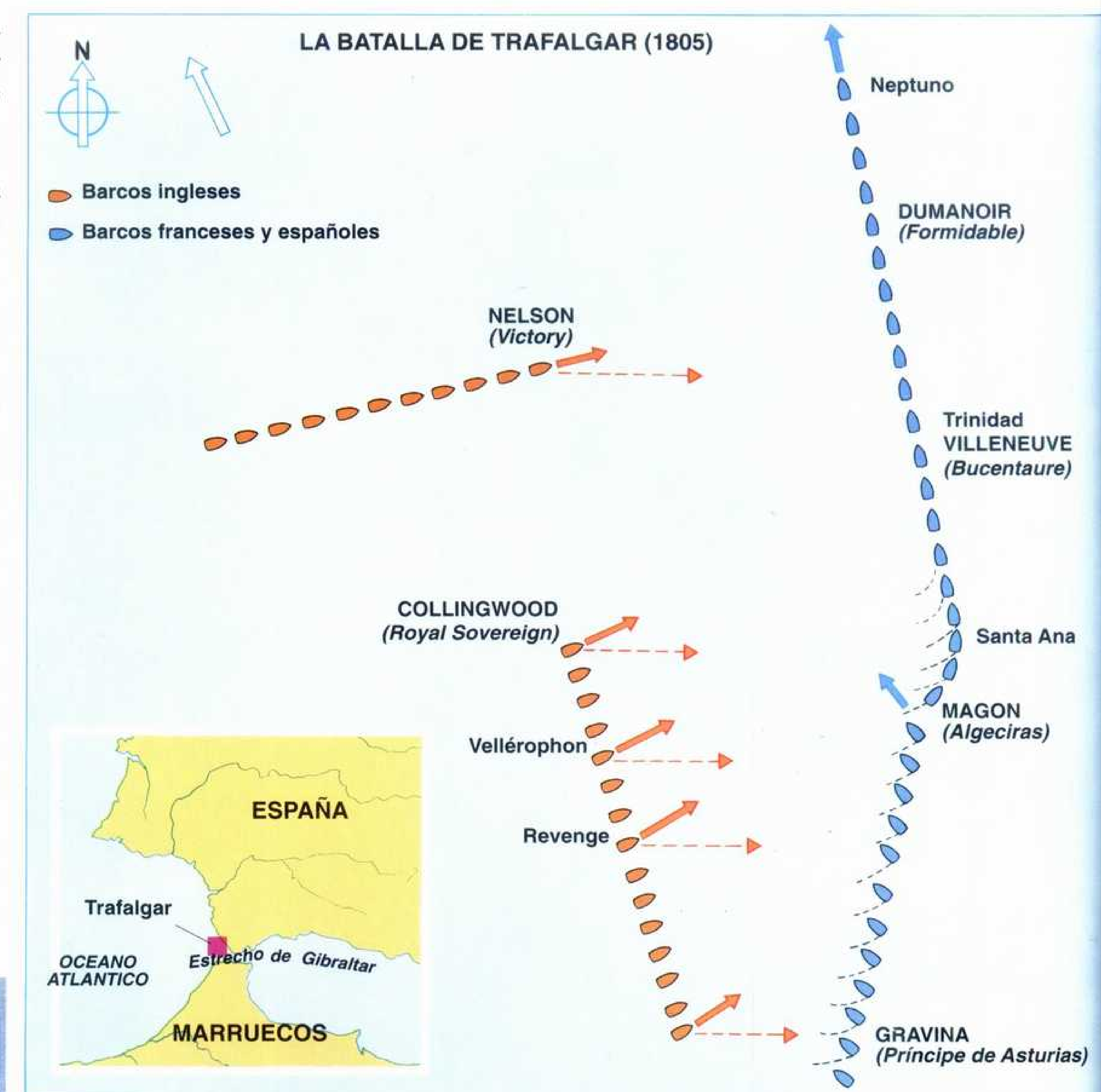
Los elementos decidieron otra cosa, y con ello determinaron el futuro de Europa entera. La Armada Invencible, al llegar a la latitud de las Shetland, y luego una vez más frente a las costas de Irlanda, fue víctima de terribles tormentas, que hicieron zozobrar a más de la mitad de sus embarcaciones.

Inglaterra había evitado la invasión, y afirmado su poderío marítimo. Incluso si, en los años que siguieron, y especialmente luego de la muerte de la gran Isabel, la política marítima británica experimentó algunos reveses, en conjunto el desastre de la Armada Invencible entregó los mares a los ingleses.

Trafalgar, una batalla de velas

Al igual que Lepanto fue la última batalla entre galeras, así Trafalgar constituyó el último gran enfrentamiento de barcos de vela. Esta derrota francesa, que acabó con las esperanzas que Napoleón pusiera en el mar, marcó también la consagración de la superioridad inglesa en los océanos. Como la victoria de Drake contra la Armada Invencible, la del almirante Nelson sobre el vicealmirante Villeneuve evitó la invasión de la Gran Bretaña, y tuvo importantes consecuencias. Desde 1803 se había declarado ya la guerra, tanto contra España como contra Inglaterra, cuando Horacio Nelson asumió el mando de la flota británica en el Mediterráneo. El vicealmirante Pierre Charles de Villeneuve, por indicaciones de Napoleón, trató de unificar las fuerzas navales francesas y españolas para intentar un desembarco en tierras inglesas.

En marzo de 1805, la flota francesa escapó al bloqueo de Tolón y se refugió en las Indias occidentales, donde intentó unirse a las unidades navales españolas. Nelson la siguió, contentándose con hostigarla. El 19 de octubre de 1805, 33 navíos de la flota franco-española se presentaron de nuevo ante el estrecho de Gibraltar, con el fin de entrar en el Mediterráneo.



Pero al zarpar del puerto de Cádiz, donde había hecho escala, esta flota se topó con la de Nelson. Puso proa al norte, y el enfrentamiento tuvo lugar el 21 de octubre frente al cabo de Trafalgar.

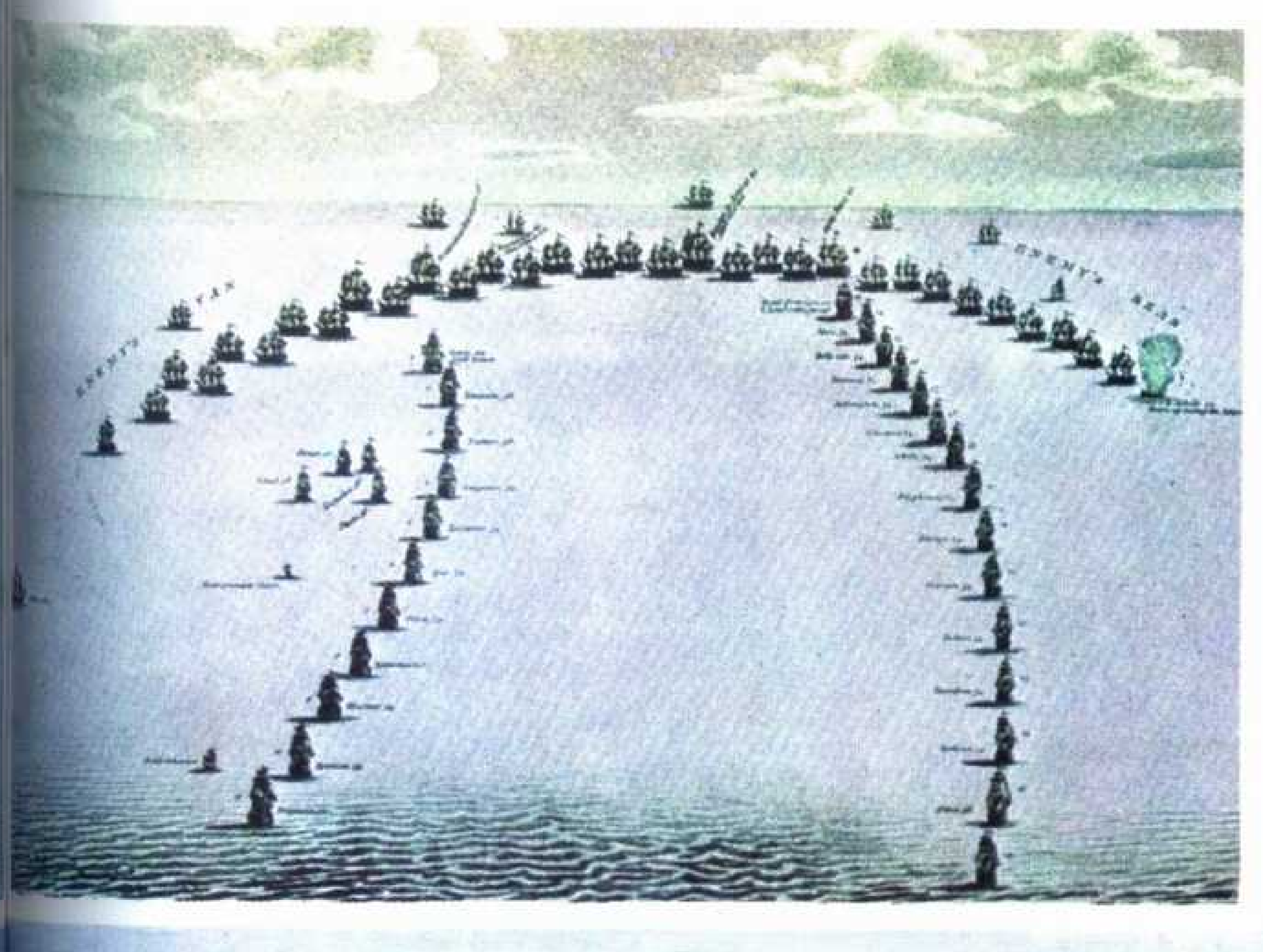
La flota franco-española avanzaba hacia el norte, desplegada en media luna. Nelson dividió sus unidades en dos grupos que avanzaron en filas perpendicularmente a los franco-españoles. Los ingleses, con esta táctica, dividieron los efectivos enemigos. Aprovechando el viento, que les permitía avanzar rápido, Nelson cañoneó vigorosamente los barcos de Villeneuve, que sufrieron grandes pérdidas.

La táctica de Nelson —bien conocida, no obstante, de los estrategas navales— fue aplicada con un notable propósito intencional, una decisión no menos firme y de la manera más brillante. Buena parte de las fuerzas franco-españolas no pudieron intervenir eficazmente en la batalla, y el cuerpo a cuerpo dio así la ventaja a los ingleses. Nelson, como se sabe, fue herido de muerte en la refriega, a bordo de su nave almirante, la *Victory*. Villeneuve, después de la derrota, se suicidó desesperado. También perecieron en el combate los marinos españoles Churruca y Alcalá Galiano. Gravina, que había mostrado su parecer contrario a forzar la batalla, murió posteriormente a consecuencia de las heridas sufridas en esta acción.

La victoria de Trafalgar fue esencial para los ingleses. Es cierto que si la hubiera conseguido la flota napoleónica, el curso de la guerra europea habría cambiado. Desde el punto de vista más limitado del arte naval, Trafalgar aportó dos enseñanzas principales. Primeramente, Nelson triunfó porque aplicó una táctica muy pensada antes del combate (hay pruebas de que dibujó su plan de batalla).

En segundo lugar, uno de los factores del éxito de este plan fue que los ingleses superaban a los franceses en el campo de la señalización marítima. Los barcos de Nelson, dotados de sistemas de comunicación visuales, maniobraban de forma concertada, y esto explica su sorprendente eficacia colectiva. El primer código de señales marítimas databa de 1799.

Trafalgar fue la última de las grandes batallas navales que enfrentó a barcos de vela. Aun cuando la navegación misma a vela continuara siendo esencial durante todo el siglo XIX, la invención del vapor cobró cada vez más importancia, siendo sobre todo las marinas de guerra las primeras en aplicarlo.



Una batalla de velas. *Trafalgar consagró la superioridad de los ingleses en todos los océanos. Las ilustraciones de arriba de esta doble página dan una idea de la disposición de los barcos. Abajo: un cuadro de la época representando la batalla. En las viñetas, a la izquierda, Nelson; a la derecha, Napoleón.*

Los primeros acorazados

La vela fue cediendo, pues, poco a poco ante el vapor. Mientras que la moda de propulsión de los barcos cambiaba, otra revolución afectaba a los medios de defensa y de ataque de los barcos de guerra. El primer acorazado moderno fue tal vez el *Gloire* francés, cuyo casco estaba guarnecido de placas de hierro. Los acorazados se hacían necesarios precisamente porque los cañones habían adquirido una eficacia temible. No sólo se había terminado con los cañones que era necesario cargar por la boca (ahora ya se cargaban por la culata), sino que se ponían también a punto cañones con recula y obuses con carga explosiva. Por lo demás, los cañones no estaban colocados en baterías fijas, sino montados en torretas que podían girar. La potencia y precisión de estos artefactos hacían por sí solos caduco el casco de madera.

Fue en el curso de la guerra de Secesión americana cuando se puso de manifiesto la superioridad de los acorazados, admitiéndose por todos los ingenieros navales del mundo. Esto ocurrió en la famosa batalla de Hampton Roads, que enfrentó, el 9 de marzo de 1862, al *Merrimac,* de las fuerzas sudistas, y al *Monitor,* de los unionistas. Hampton Roads marcó el final de la marina de madera.

Como se sabe, la guerra civil americana surgió de la diferencia en las formas de desarrollo entre el Norte y el Sur. Después del éxito definitivo de las fuerzas independentistas americanas contra la antigua potencia colonial británica, en 1812, los estados del Norte concentraron su actividad en la industria, que se hizo allí poderosa, y que requirió de una fuerza de trabajo humana asalariada. Los estados del Sur, esencialmente agrícolas, ricos en grandes plantaciones (sobre todo de algodón), necesitaban también mano de obra numerosa, principalmente formada por esclavos. Las razones morales pesaron en el conflicto, pero pronto la cuestión de la abolición de la esclavitud se convirtió en un asunto de modo de desarrollo económico. Otros factores, tanto económicos como políticos y socioculturales, entraron en consideración. Así, el Norte era más bien proteccionista, al necesitar preservar el desarrollo de su industria, entonces más débil que las industrias europeas, mientras que el Sur, preocupado por la necesidad de encontrar salidas a su producción algodonera, era partidario del libre intercambio.

Cuando Abraham Lincoln fue elegido presidente de Estados Unidos, el 6 de noviembre de 1860, la crisis se fue poco a poco declarando. Se acentuó la presión de los antiesclavistas. El primer estado del Sur que se declaró secesionista fue Carolina del Sur, seguido de otros diez: Mississippi, Florida, Alabama, Georgia, Luisiana, Texas, Virginia, Arkansas, Carolina del Norte y Tennessee. Estos estados constituyeron la Confederación de los Estados de América, y eligieron Richmond como capital, en Virginia. Su presidente se llamaba Jefferson Davis. La guerra propiamente dicha estalló con el ataque de Fort Sumter por los confederados, a la entrada del puerto de Charleston, el 12 de abril de 1861.

Los confederados, teniendo en cuenta la inmensidad de sus costas (10.000 kilómetros, de los que 6.800 correspondían al golfo de México), comprendieron inmediatamente la importancia de su flota. Los sudistas, por lo demás, necesitaban imperiosamente mantener abiertos sus puertos, para poder continuar comerciando con los estados europeos. La venta de algodón no debía interrumpirse, so pena de una grave crisis económica. Los nordistas, conscientes de esta necesidad esencial, decidieron casi en seguida bloquear los puertos del Sur. Al principio del conflicto, las fuerzas nordistas eran claramente superiores a las sudistas en materia naval, aunque unos 300 oficiales de la Marina federal se pasaron al lado de los confederados, y las fuerzas unionistas no contaban más que con 92 barcos de guerra, de los que sólo 42 estaban inmediatamente disponibles.

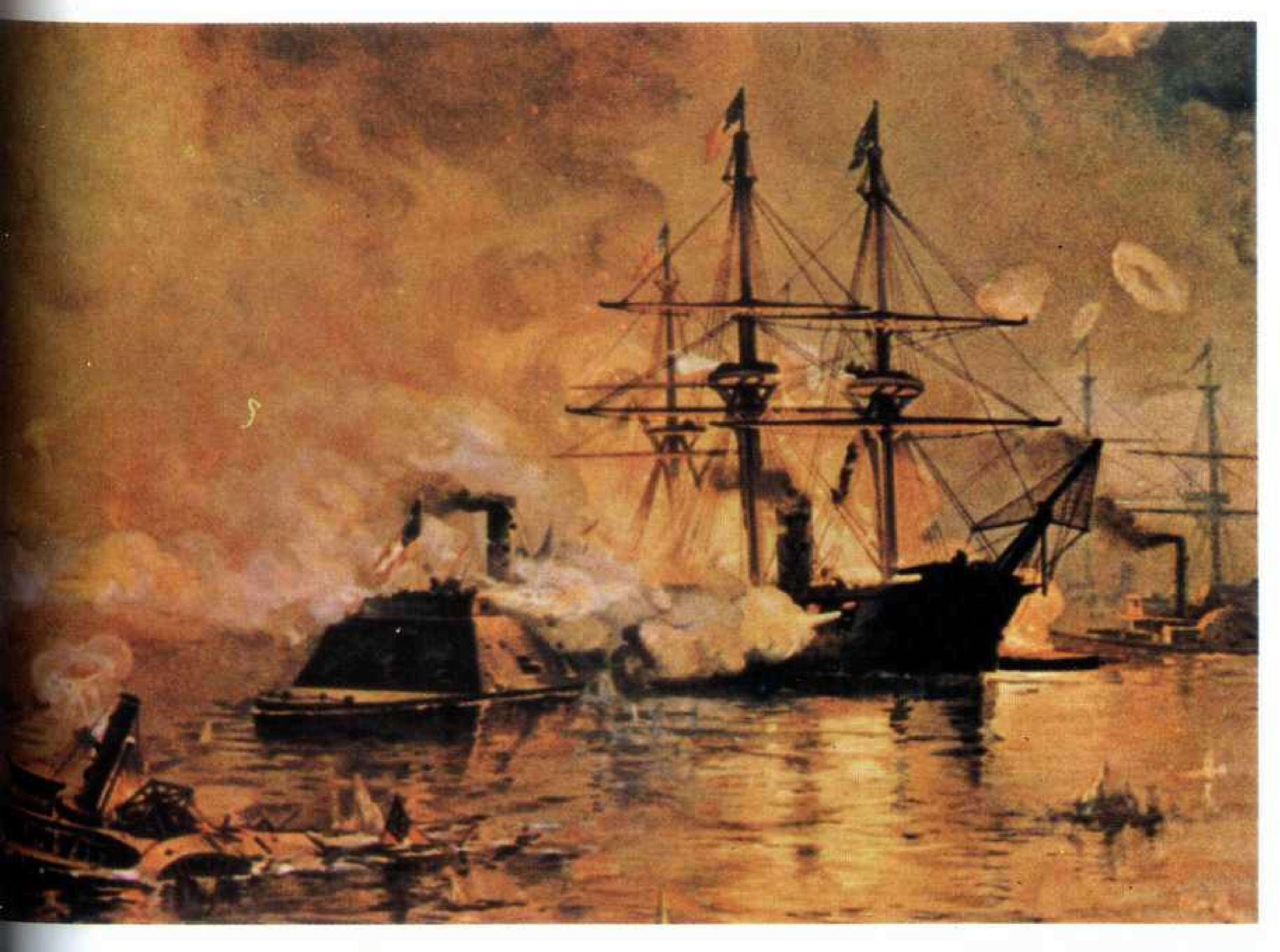
Los nordistas, que podían apoyarse en una fuerte industria, no tardaron en construir numerosos barcos. Este esfuerzo se debió al principio a dos hombres excepcionales: el secretario de Estado para la Marina, Gedeon Welles, y el jefe de Estado Mayor de la Marina, Gustavus Vasa Fox. Ocho meses después de la decisión del bloqueo de los puertos sudistas, el número de unidades de guerra nordistas se había ya triplicado. A principios de marzo de 1862, es decir, en vísperas de Hampton Roads, unos 100 barcos de vapor y 390 de vela transportaron en dos semanas todo el ejército del Potomac, compuesto por 109.420 hombres, 14.590 animales y 300 cañones.

Las operaciones navales de la guerra de Secesión fueron muy diversas. Se asistió a numerosas escenas de piratería en alta mar o cerca de las costas. Hubo incursiones por los ríos, de una y otra parte. Los barcos bombardeaban también desde el mar las posiciones enemigas en la costa; incluso se produjeron desembarcos de tropas. Los sudistas violaron en muchas ocasionnes el bloqueo de los nordistas, utilizando a veces ingeniosas tretas, como la de pintar enteramente de blanco sus barcos para pasar inadvertidos entre la bruma.



El bloqueo fue roto 8.250 veces entre 1861 y 1865. De este total, 1.200 barcos que lo habían hecho fueron capturados por los nordistas, y 1.500 fueron destruidos o se dieron por perdidos.

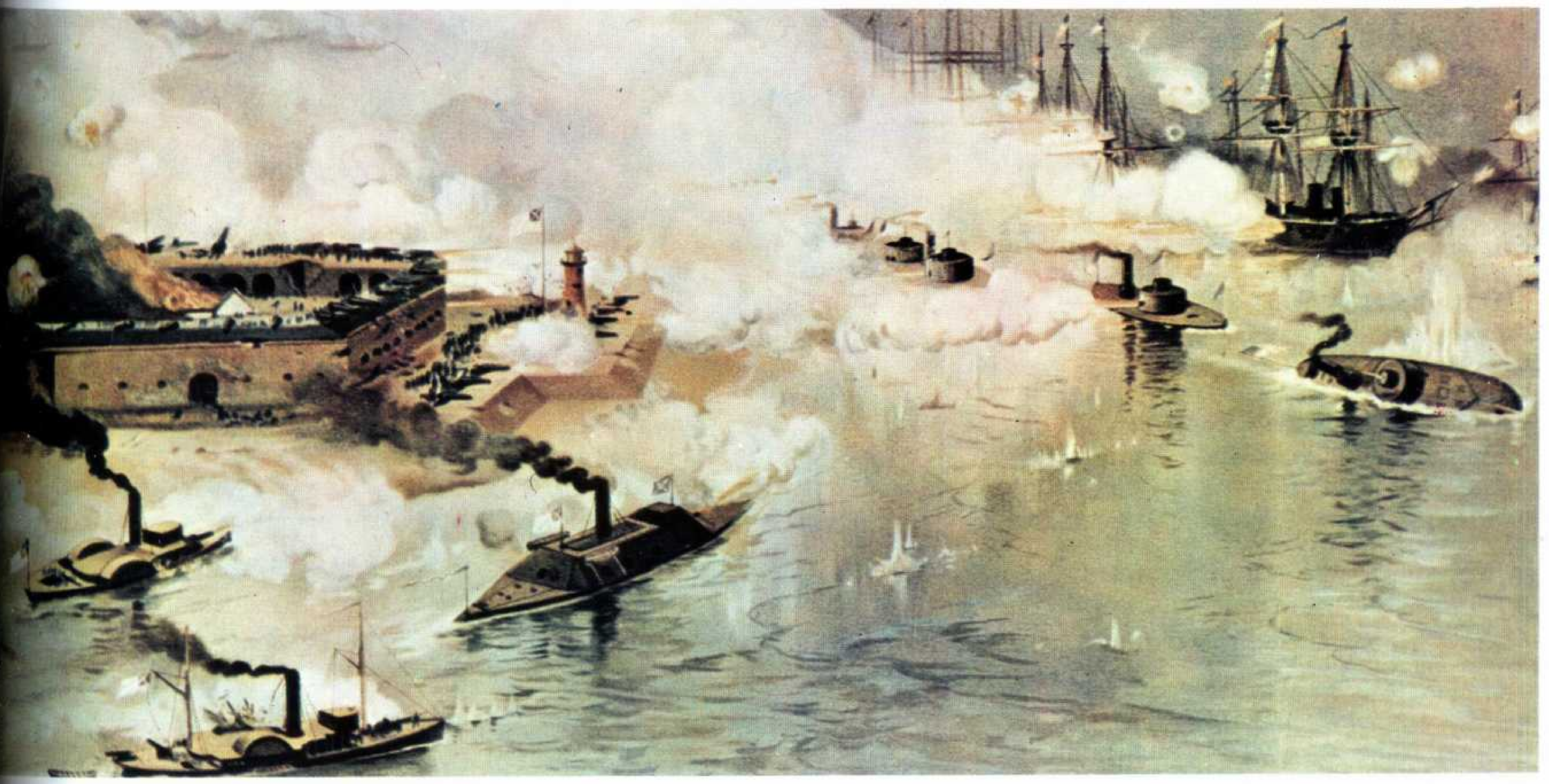
El combate entre el *Merrimac* y el *Monitor* no fue decisivo en sí mismo, puesto que ambos barcos salieron quebrantados del trance. El *Monitor* zozobró poco des-







Nordistas contra sudistas. *D. G. Ferragut (arriba, a la izquierda) se distinguió en la conquista de Nueva Orleáns (aquí al lado) al mando de la flota de la Unión, y luego cuando la victoria de los nordistas en Mobile (abajo). En esta página, abajo: Hampton Roads, donde se enfrentaron el* Monitor *y el* Merrimac, *mandado por F. Buchan (arriba, a la derecha). En la página anterior: dos unidades de las fuerzas sudistas.*



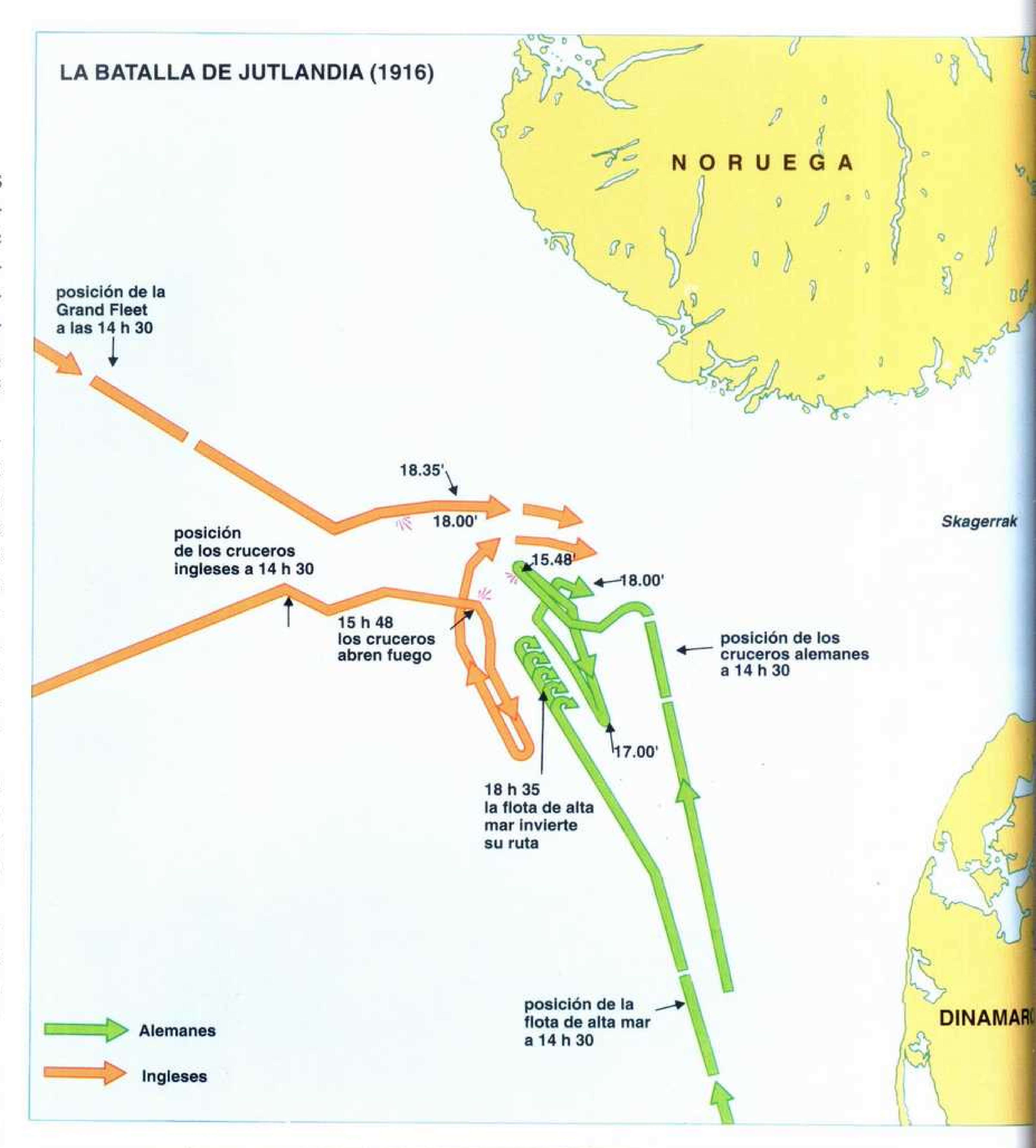


pués, pero en una tormenta. La batalla, no obstante, fue importante, pues probó que nunca más un barco con casco de madera no acorazado podría sostener victoriosamente una contienda contra un barco acorazado.

Por otra parte, la guerra de Secesión americana fue la ocasión para numerosos progresos técnicos. Se mejoró la propulsión a vapor; se pusieron a punto minas poderosas y eficaces; incluso se hizo intervenir por primera vez a submarinos en el combate.

En muchos campos, los combates fratricidas y despiadados de esta guerra civil anunciaron las grandes confrontaciones marinas del siglo XX.

La batalla de Jutlandia



Una de las grandes enseñanzas de las batallas navales de la guerra de Secesión americana fue que había que apoyar constantemente el poderío marítimo, para que fuera eficaz, en una industria sólida y dinámica. Es lo que se verificaría mucho más adelante en el siglo XX, ya en las primeras batallas marítimas de la guerra de 1914-1918.

En el apogeo de su poder, España y Portugal disponían de una formidable flota comercial, que surcaba todos los mares del mundo. Pero la grandeza misma de esta flota la exponía a los ataques de los piratas. Algo parecido le podía ocurrir a la inmensa flota que Inglaterra había logrado reunir a principios del siglo XX. Cuando estalló la primera guerra mundial, Gran Bretaña, a pesar de su formidable poderío naval, parecía muy vulnerable.

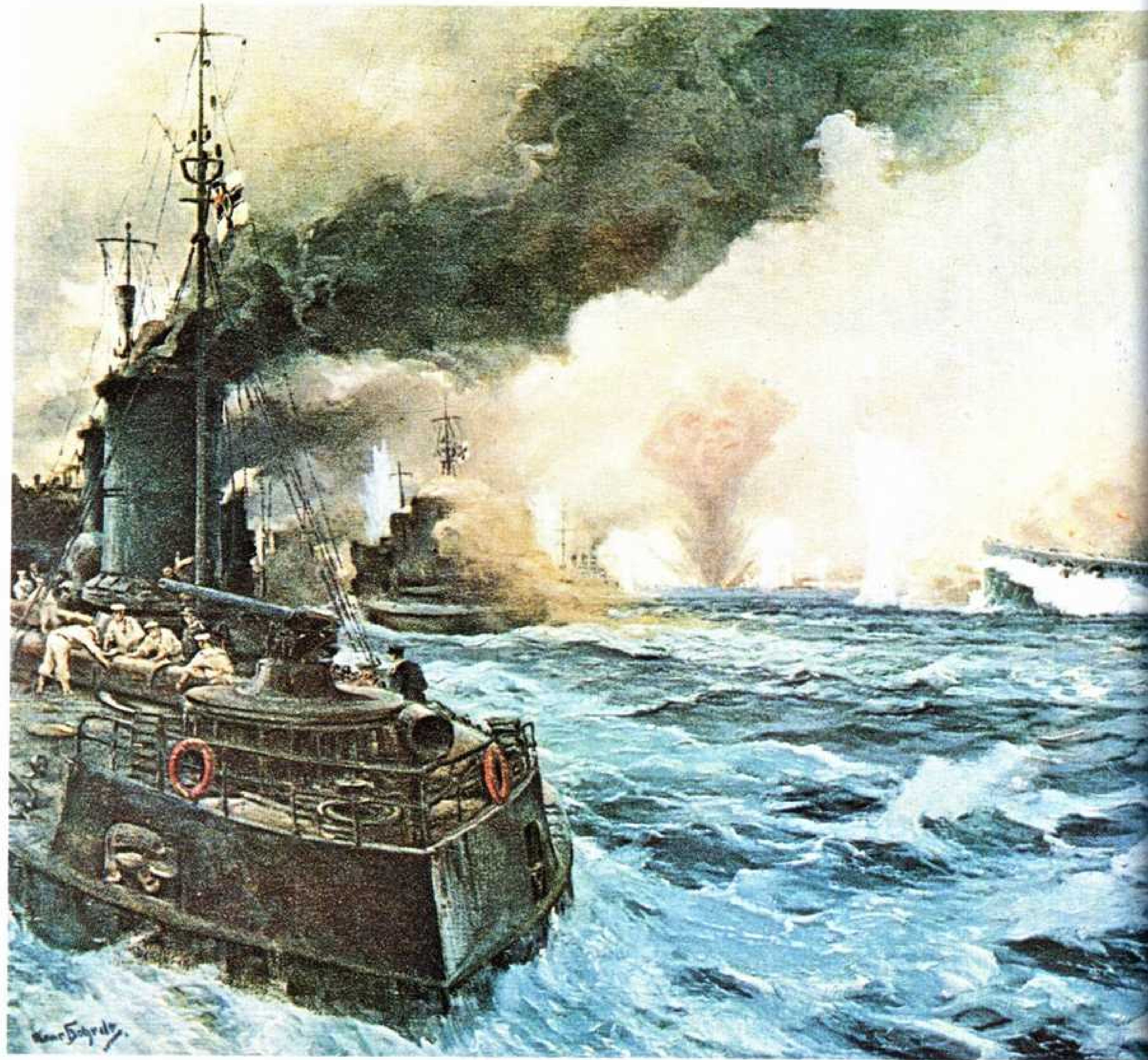
Para su industria, incluso para su misma supervivencia económica, dependía de las mercancías que llevaban cada día decenas de buques que la unían a los diferentes territorios de su imperio.

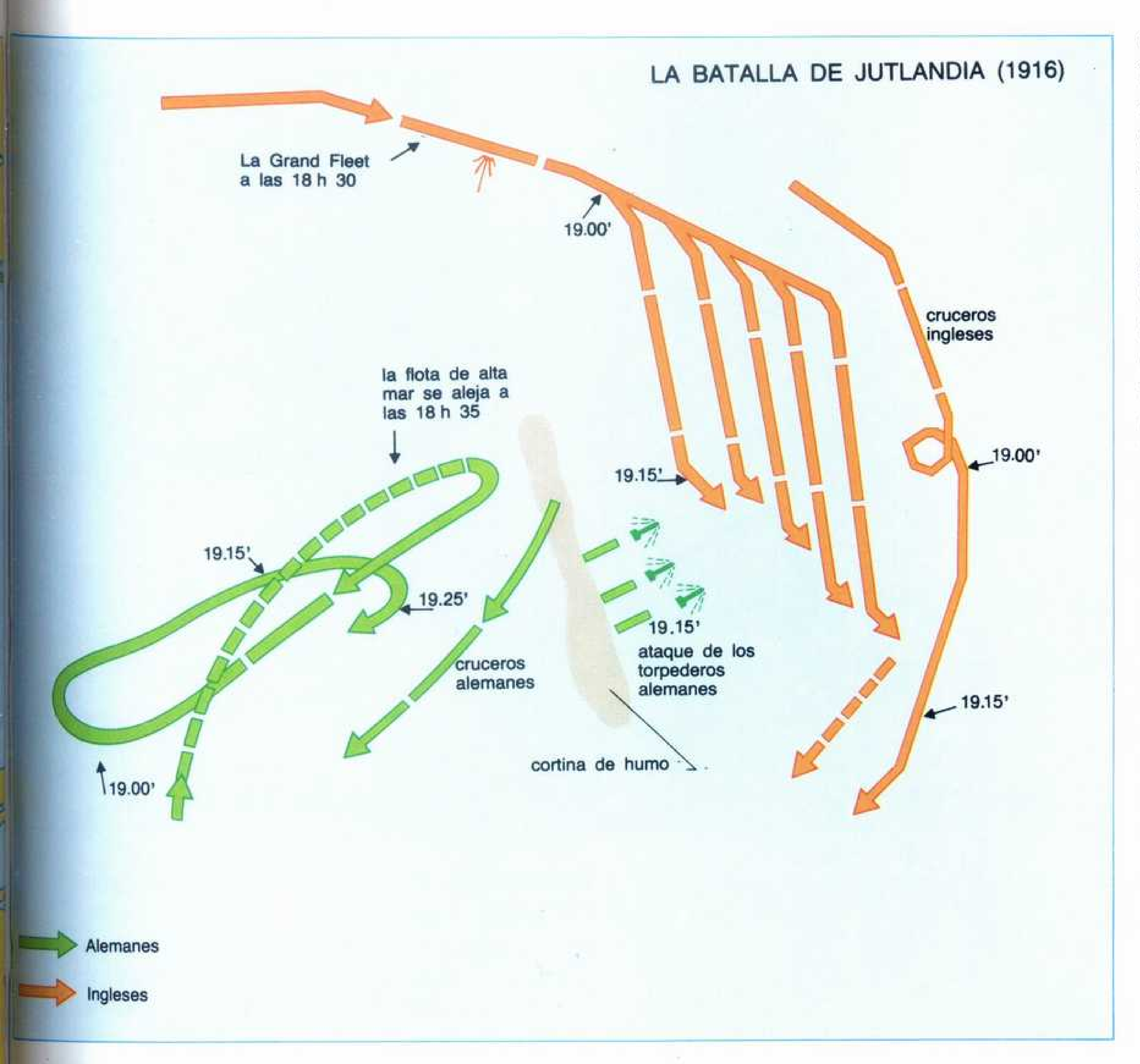
Si un enemigo decidido lograba bloquear las islas Británicas, cortar sus fuentes de abastecimiento de ultramar, el poderío británico podría derrumbarse muy rápidamente.

Fue el cálculo que hizo Alemania. Los ingleses habían logrado el contrabloqueo de Europa, cuando reinaba Napoleón: si se pudiera hacer lo mismo con Inglaterra, se tendría una buena oportunidad de ponerla de rodillas.

De hecho, los aliados llevaban la ventaja en barcos sobre las fuerzas del Eje. Y el bloqueo se volvió poco a poco contra estos últimos. Los alemanes decidieron crear en el mar Báltico un acceso de fijación, donde reagruparían una parte de sus fuerzas. Durante este tiempo, las fuerzas del Eje (alemanas, austriacas, turcas) trajeron a mal traer a las fuerzas aliadas en el Mediterráneo. Los submarinos alemanes —los famosos *U-Boot*— torpedearon un considerable número de barcos aliados. Echaron a pique no solamente barcos de guerra (cruceros, etc.), sino también buques de transporte: de este modo lograron casi asfixiar el comercio de los aliados. Solamente en el curso del mes de abril de 1917 aniquilaron alrededor de un millón de toneladas en buques. La eficacia de los *U-Boot* en el bloqueo fue real.

Los aliados tuvieron que poner a punto urgentemente diversas tácticas para reducir las pérdidas. Cambiaron sus rutas comerciales. Inventaron procedimientos de





detección de los submarinos, que destruían lanzando granadas. Hicieron acompañar a sus barcos mercantes por escoltas de acorazados y dragaminas dotados de armamento antisumergibles.

La batalla de Jutlandia, en 1916, fue la única gran batalla naval de la primera guerra mundial. La guerra marítima hizo estragos durante todo el tiempo de las hostilidades, pero sólo hubo esta gran confrontación ordenada. Fue casi un momento «anormal» en esta gran guerra, que no correspondió ni a la estrategia de los aliados, ni a la de las fuerzas del Eje. El comandante de la flota alemana, el almirante Reinhard Scheer, lo mismo que su enemigo inglés, el almirante lord Jellicoe, en modo alguno deseaba este enfrentamiento crucial.

Gran Bretaña tenía en el mar 37 unidades principales, contra 27 de los alemanes. Cada lado disponía además de 100 contratorpederos, o unidades ligeras de intervención. Después de intercambios de artillería de largo alcance, durante la tarde y la noche del 31 de mayo y el 1 de junio de 1916, ambas partes se retiraron. No hubo más combates de aproximación, y sólo los cañones, terriblemente eficaces, hablaron. La Gran Bretaña perdió 14 barcos, Alemania 11. La batalla había sido equilibrada.

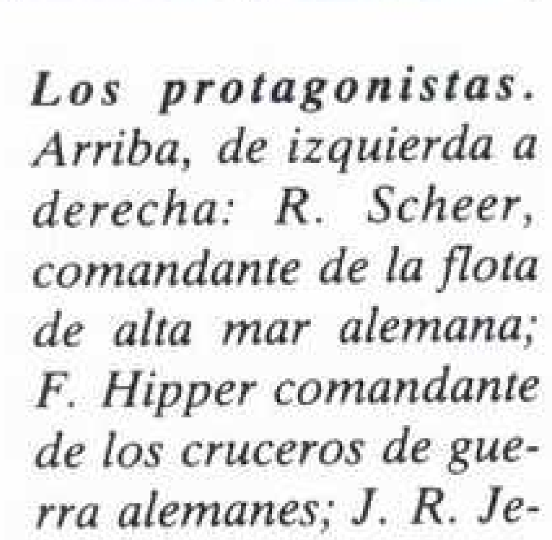
Desde un punto de vista puramente militar, no se puede decir quién venció y quién fue vencido. Las fuerzas británicas y las fuerzas alemanas probaron ambas a dos que le era difícil al otro bando mantener el bloqueo de sus costas. Los ingleses lograron no caer en la trampa que les tendieron los alemanes: éstos querían obligarles a navegar más al sur, donde los esperaban los *U-Boot*. Los alemanes demostraron que los ingleses no podían pretender lograr el contrabloqueo de sus puertos del mar del Norte y del Báltico. Finalmente, la batalla de Jutlandia fue esencialmente utilizada con fines propagandísticos en ambos bandos. En este campo, puede que en efecto se tratara de la primera auténtica batalla de la era moderna...





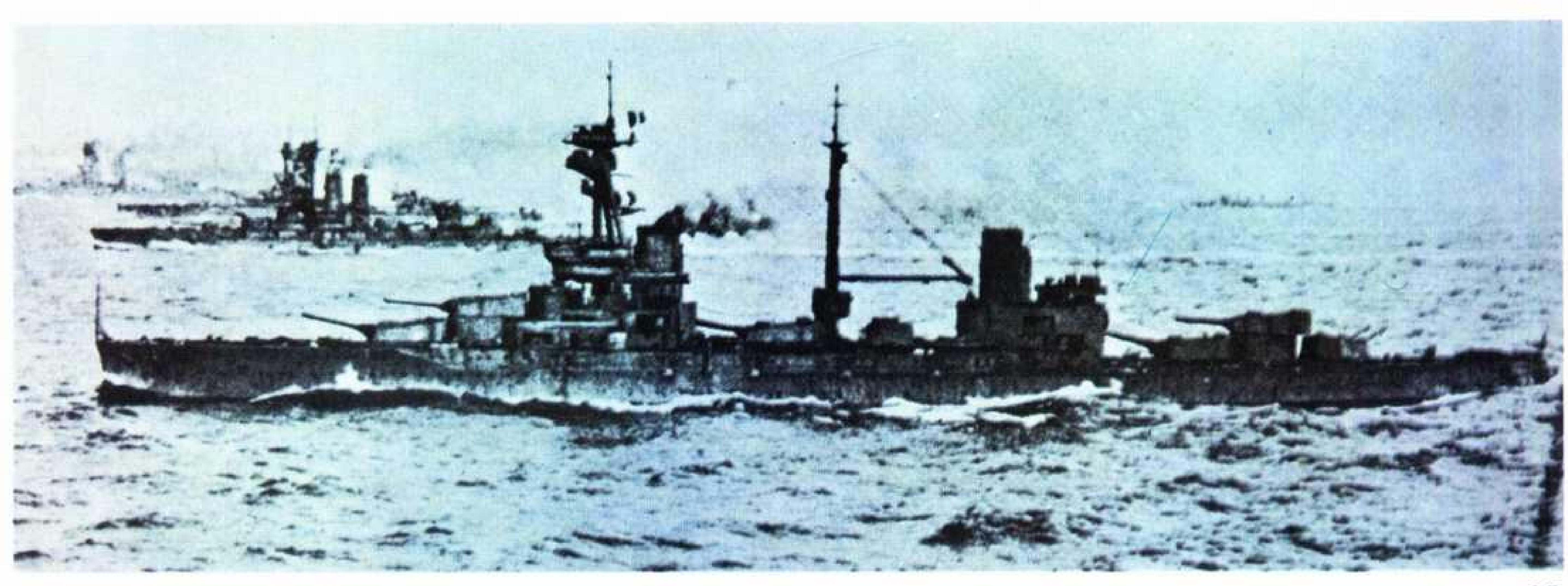








Los protagonistas. *Arriba, de izquierda a derecha: R. Scheer, comandante de la flota de alta mar alemana; F. Hipper comandante de los cruceros de guerra alemanes; J. R. Jellicoe, comandante en jefe de la flota de alta mar británica; sir D. Beatty, comandante de los cruceros británicos. Aquí, a la izquierda: dibujo de la época en el que aparece la flota de alta mar alemana en el Skagerrak. Abajo: la escuadra de guerra de la flota británica. Los mapas de esta doble página dan en detalle la posición de las flotas.*



La guerra del Pacífico

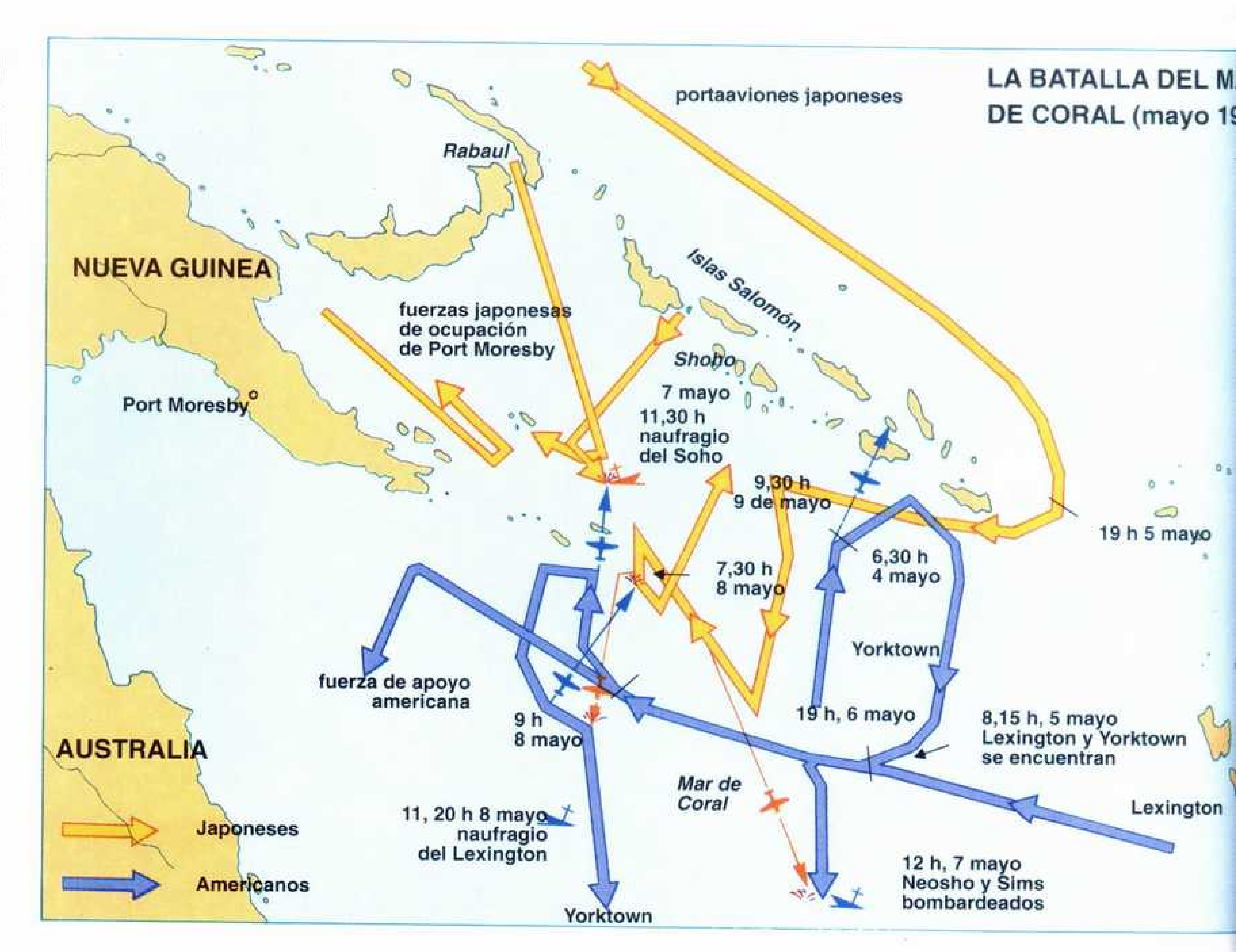
La lucha que Estados Unidos y el Japón entablaron durante la segunda guerra mundial por el control del océano Pacífico fue decisiva por más de una razón. Aparte de sus resultados inmediatos, es decir, geopolíticos, introdujo múltiples nuevas realidades. Fue la primera vez que todo un océano se convirtió en escenario de batalla. La primera vez también que se empleó con toda su potencia una fuerza nueva: la aeronaval; a partir de entonces, la marina y la aviación van de la mano. Y fue también la primera vez, naturalmente, que se utilizó la bomba atómica...

La guerra del Pacífico se inició realmente cuando los japoneses bombardearon a la flota americana fondeada en Pearl Harbour, en el archipiélago de las Hawai, en diciembre de 1941. Los americanos sintieron esta destrucción más como un desastre moral que como una catástrofe en el plano material.

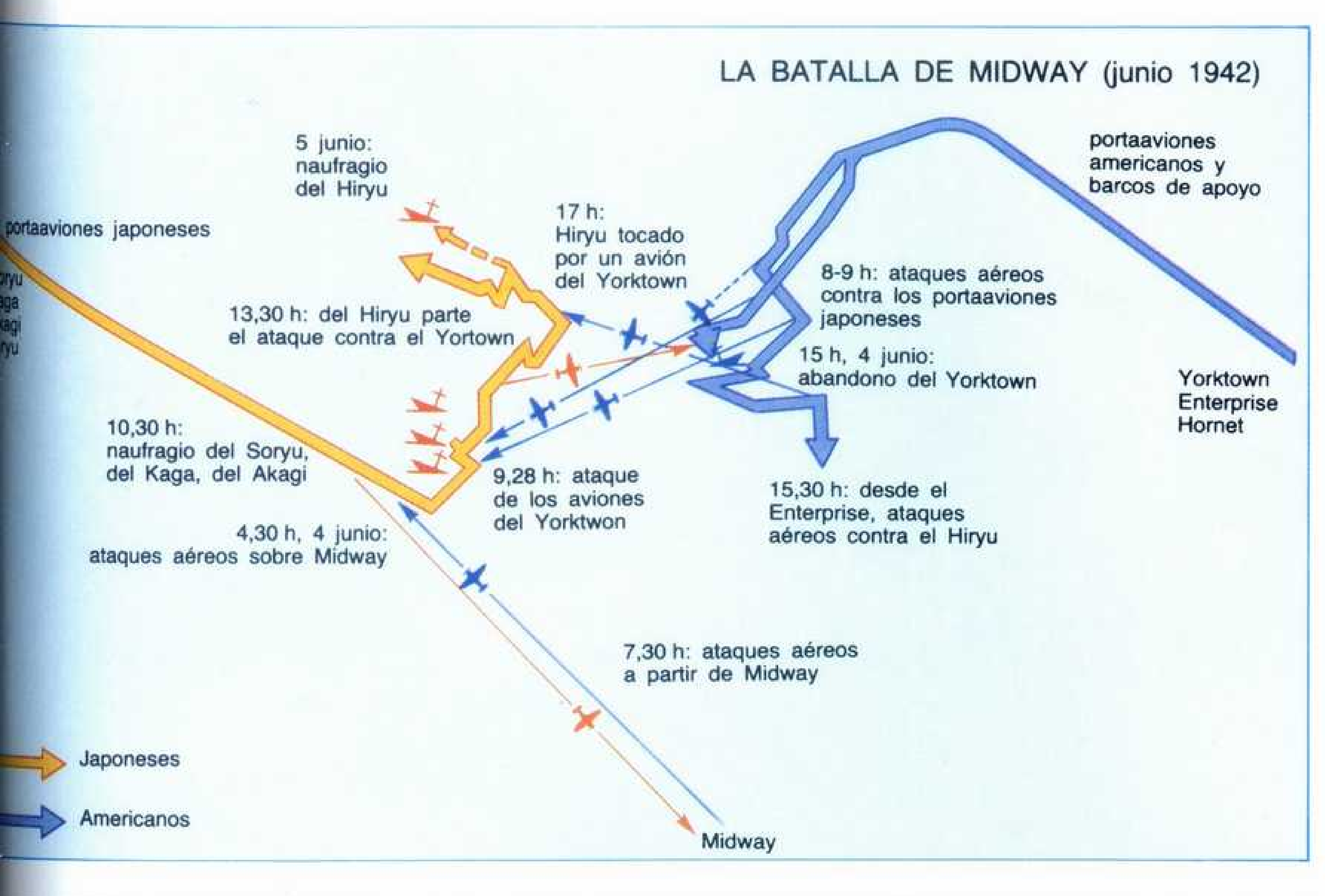
Al atacar a Pearl Harbour, el almirante japonés Yamamoto tenía dos objetivos principales. Aniquilaba la punta de lanza de la flota americana en el Pacífico, es decir, cuatro portaaviones cargados con un total de 350 aeroplanos. Y daba un golpe psicológicamente tan fuerte, que esto le dejaría tiempo para conquistar posiciones inexpugnables. Podía en especial establecerse firmemente en Australia, y dominar el mar de Coral. Podía atacar también sin grandes riesgos (pensaba él) la isla de Midway, base estratégica esencial situada a 1.000 kilómetros al oeste-noroeste de Hawai, y ocupada por los americanos.

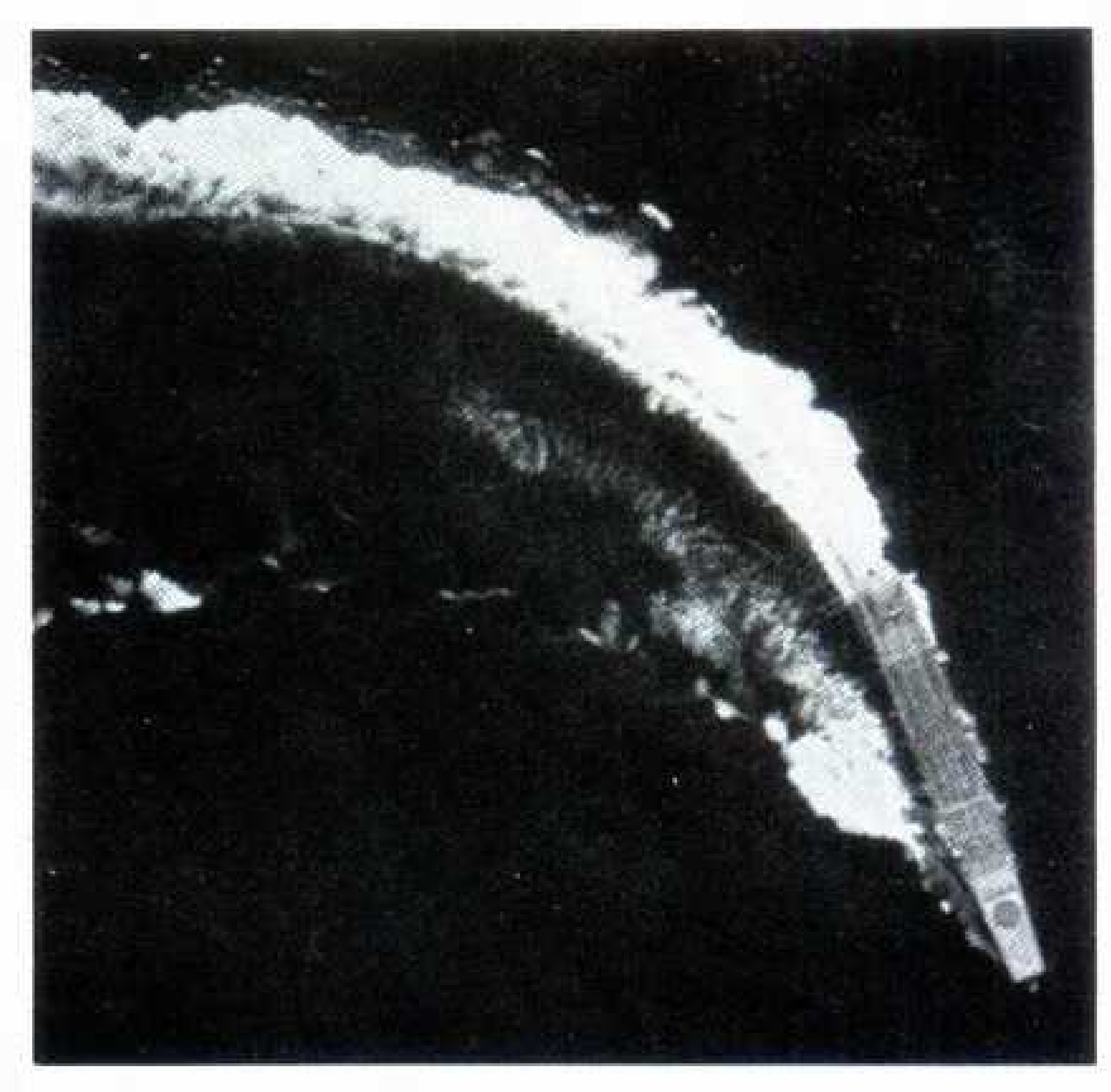
En realidad, Yamamoto no consiguió ninguno de estos objetivos. En el mar de Coral, los americanos estuvieron presentes, y bien presentes. Por primera vez en la historia, dos flotas se combatieron sin verse: los aviones se encargaron de intercambiar los ataques... El 7 y el 8 de mayo de 1942 fueron días decisivos. Los americanos perdieron un portaaviones (el *Lexington),* pero echaron a pique a tres, y los japoneses tuvieron que batirse en retirada.

Para tomar Midway, Yamamoto reunió a más de 90 navíos. Quería repetir el golpe de la sorpresa total, que tan bien había salido en Pearl Harbour. Pero los servicios secretos norteamericanos estaban

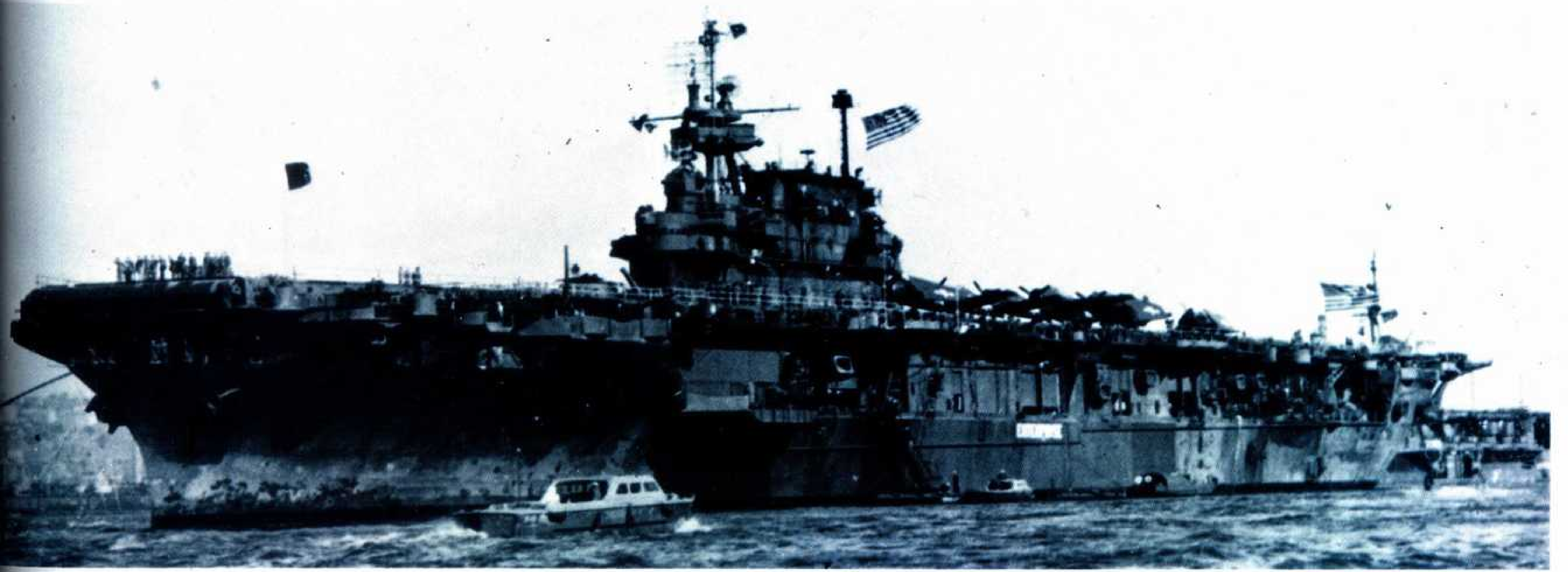


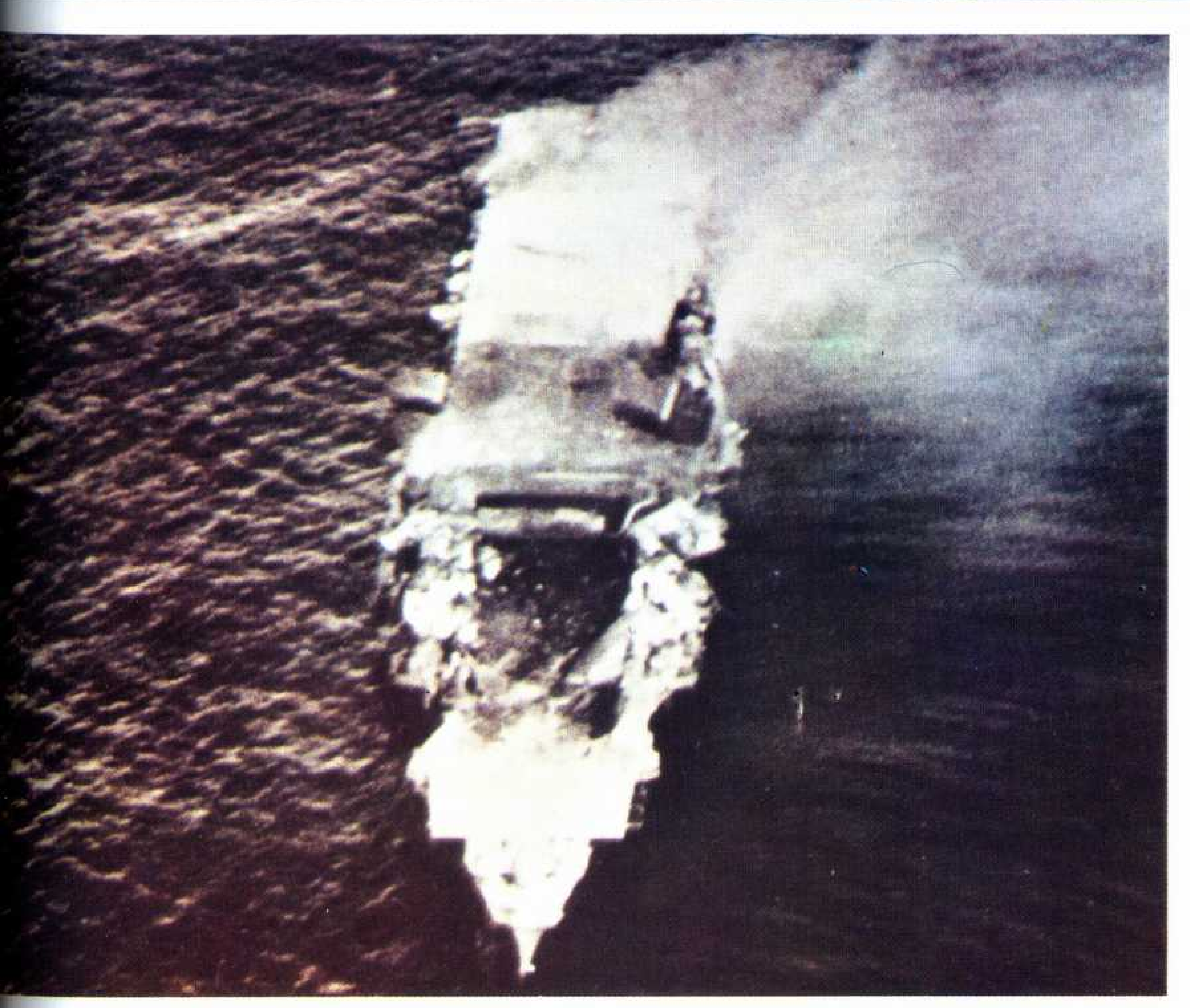
La batalla del mar de Coral*. El mapa de arriba de esta página da una idea de la complejidad de las maniobras que caracterizaron a la batalla del mar de Coral. Los americanos triunfaron finalmente, impidiendo que los japoneses controlaran Nueva Guinea y Australia. Aquí, a la izquierda: la escuadra americana al inicio de la batalla; la fotografía fue tomada a bordo del portaaviones americano* Enterprise.





***La batalla de Midway.** En medio del Pacífico, Midway constituía una base estratégica de capital importancia. Los americanos y los japoneses se enfrentaron para apoderarse de ella en una terrible batalla, que dependió sobre todo de los portaaviones.*






***Los portaaviones.** Las fotografías muestran algunos de los de Midway. Arriba del todo: el japonés* Akagi. *En el centro, el americano* Enterprise. *Aquí encima: el* Yorktown. *Aquí, a la izquierda: el* Hiryu *ya en llamas.*

Bombarderos y portaaviones. *Los aviones jugaron un papel decisivo en la batalla del Pacífico desde su comienzo, en Pearl Harbour, hasta su conclusión, cuando el desplome de la flota japonesa en la laguna de Truk. Arriba: tres aviones americanos. Abajo: el naufragio del* U.S. Lexington. *En los recuadros: a la izquierda, el almirante Nimitz; a la derecha, el japonés Yamamoto.*

atentos. El código secreto de los japoneses fue descifrado, y evitado el efecto de sorpresa. El almirante americano Nimitz pudo organizar victoriosamente la defensa de la isla. El 4 de junio de 1942 envió al combate a dos portaaviones, el *Enterprise* y el *Hornat,* que debían enfrentarse a cuatro portaaviones nipones. Más de las dos terceras partes de los aviones que despegaron de los dos buques yanquis no regresaron, pero toda la flota japonesa estuvo ocupada luchando contra estos artefactos llegados del cielo. Los aviones japoneses no pudieron despegar: por el contrario, una segunda oleada de bombarderos americanos salió en dirección de los lugares de combate. Tres portaaviones japoneses y sus aparatos fueron destruidos. En cuanto al cuarto portaaviones logró enviar una escuadrilla que hundió al *Yorktown.* El *Hiryu* (tal era su nombre) tuvo que sufrir más tarde el ataque de los aviones americanos del *Hornat,* que lo incendiaron. Dos días después fue el poderoso crucero *Mikuma* el que se fue a pique. La victoria de Midway fue determinante. Constituyó, por así decir, el punto clave de la guerra del Pacífico. Aunque ésta no por eso se acabara rápidamente: hizo estragos todavía por varios años más, alcanzando cotas de suma crueldad. Pero los americanos habían vengado Pearl Harbour. Finiquitaron la destrucción de la flota aeronaval japonesa cuando atacaron la gran base donde ésta se había refugiado, en la laguna de Truk, el 17 y 18 de febrero de 1944.




La explotación
de los
minerales
del mar

Yacimientos de la plataforma

Si el nivel general de los mares descendiese 135 metros, como ocurrió en la última glaciación, la superficie total de los continentes aumentaría en un 12 por 100. Los márgenes continentales hoy cubiertos de agua, es decir, lo que llamamos plataforma continental, forman parte estructural de la masa de los propios continentes. Desde el punto de vista geológico, son la prolongación de estos últimos. No es sorprendente, pues, que se encuentren las mismas capas de terreno y, por lo tanto, los mismos minerales, los mismos yacimientos. Ya es conocido que en la plataforma continental es donde se encuentran las principales reservas de petróleo del futuro: la explotación *offshore* ha comenzado hace algunos años y representa, desde entonces hasta ahora, una cuarta parte de la producción total. Cuando se hayan agotado los yacimientos de la plataforma continental, no quedarán más que yacimientos profundos; luego, según dicen los especialistas, se habrá «tocado el fondo del barril».

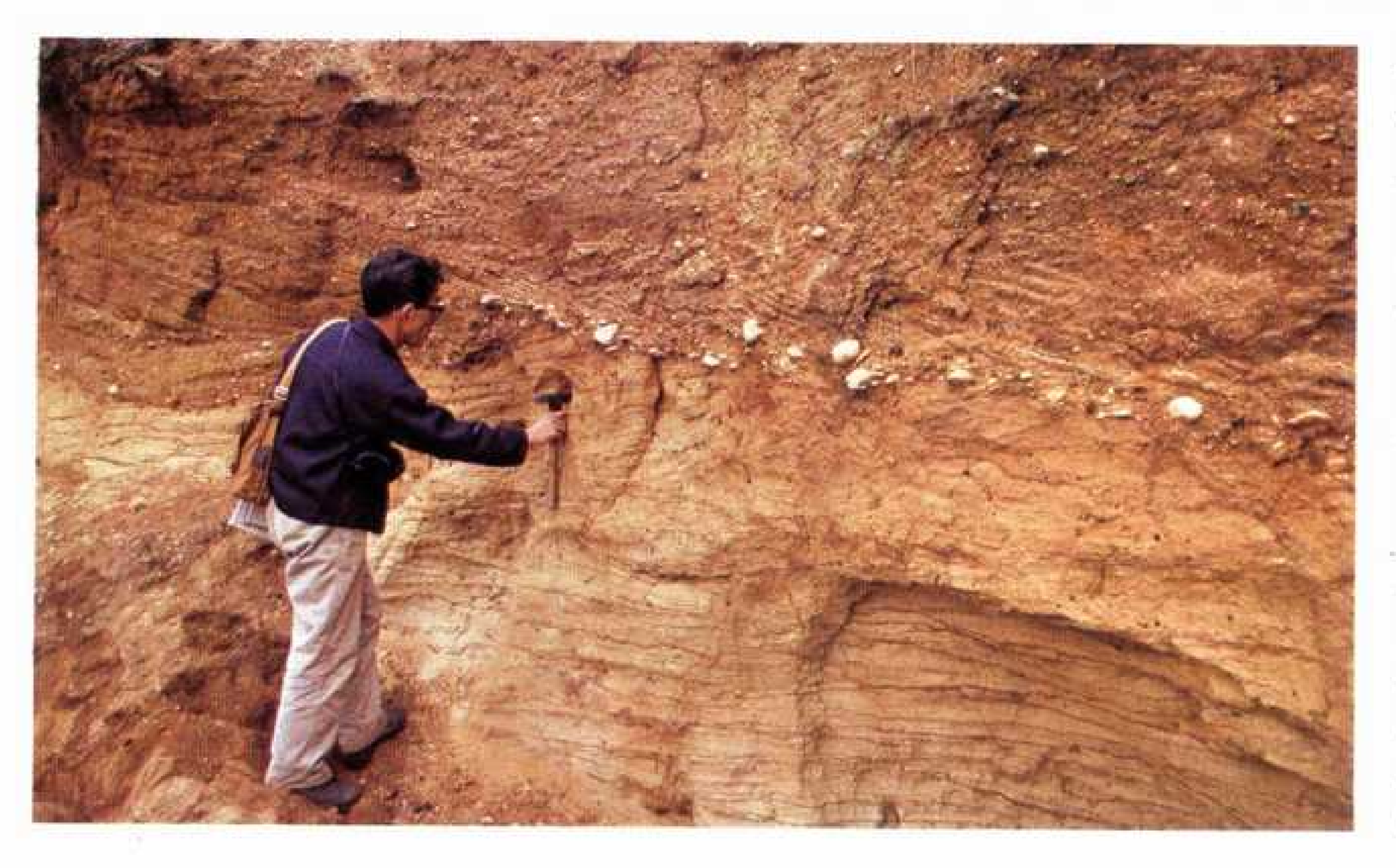
Además del petróleo, los terrenos de la plataforma continental encierran numerosos yacimientos minerales interesantes. Algunos de ellos son ya explotados, otros se encuentran entre las reservas esenciales de las que disponemos para el día de mañana. A veces, las técnicas necesarias para su explotación no están aún a punto, o resultan demasiado gravosas.

Los principales recursos minerales *offshore*, además de los hidrocarburos, son los minerales de alto valor (oro, diamantes, etcétera) y los materiales de construcción (arena, gravas).

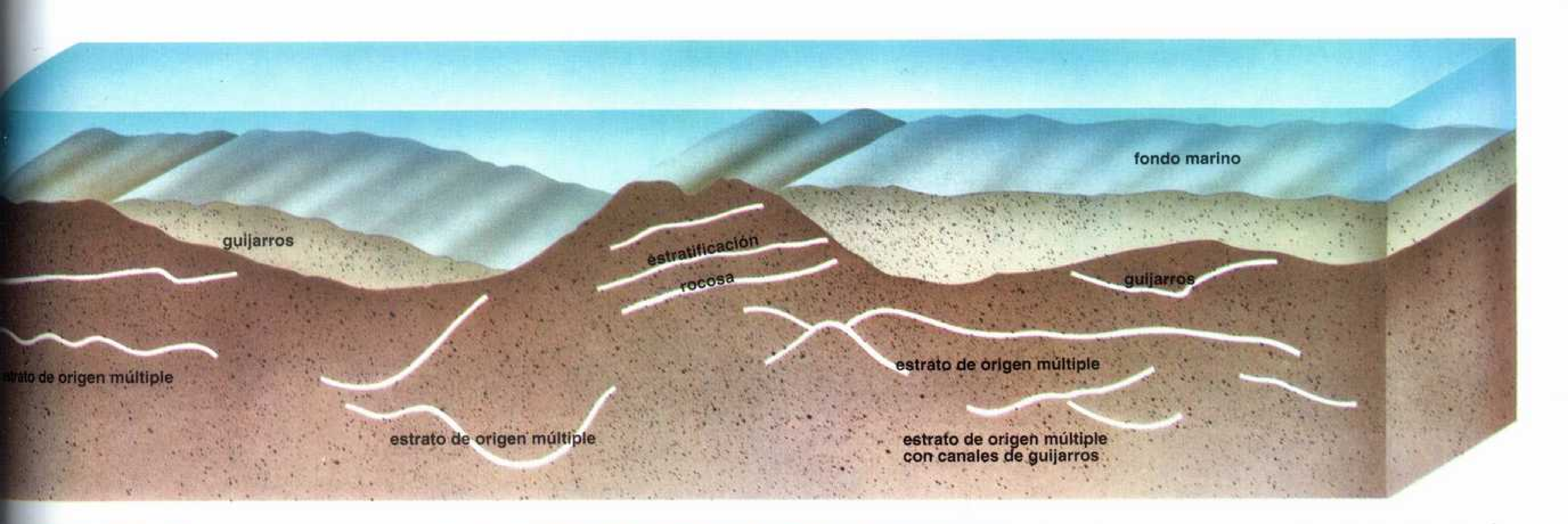
Un cierto número de depósitos minerales de la plataforma continental son obra propiamente del agua del mar. En ciertas regiones existen subidas de aguas profundas *(upwellings)*, pesadas, frías y ricas en minerales disueltos. Al mezclarse con las aguas superficiales, esas masas líquidas profundas pierden una parte de sus sales disueltas, que se precipitan. Así existen, no lejos de nuestras costas, sustanciosos depósitos de minerales metálicos diversos, fosfatos, baritas...

Las plataformas continentales actuales ocupan 18,4 millones de kilómetros cuadrados, es decir, alrededor del 3,6 por 100 de la superficie total de la Tierra. Mientras que las corrientes de alta mar traen minerales disueltos hacia los continentes, un cierto número de minerales que antes se habían acumulado sobre las orillas siguen el camino inverso: son limpiados por las aguas de escorrentía, y rebajan el talud continental.

Si se exceptúan el gas natural y el petró-



La estructura sedimentaria. *El dibujo de la página siguiente es una interpretación de ecogramas. El sonido se propaga a diferentes velocidades según la densidad de las capas del terreno. Aquí arriba: una cuenca por debajo del nivel del mar. Al lado, a la izquierda: un estrato de guijarros del Pleistoceno. Al lado, a la derecha: arenas y guijarros del Holoceno.*

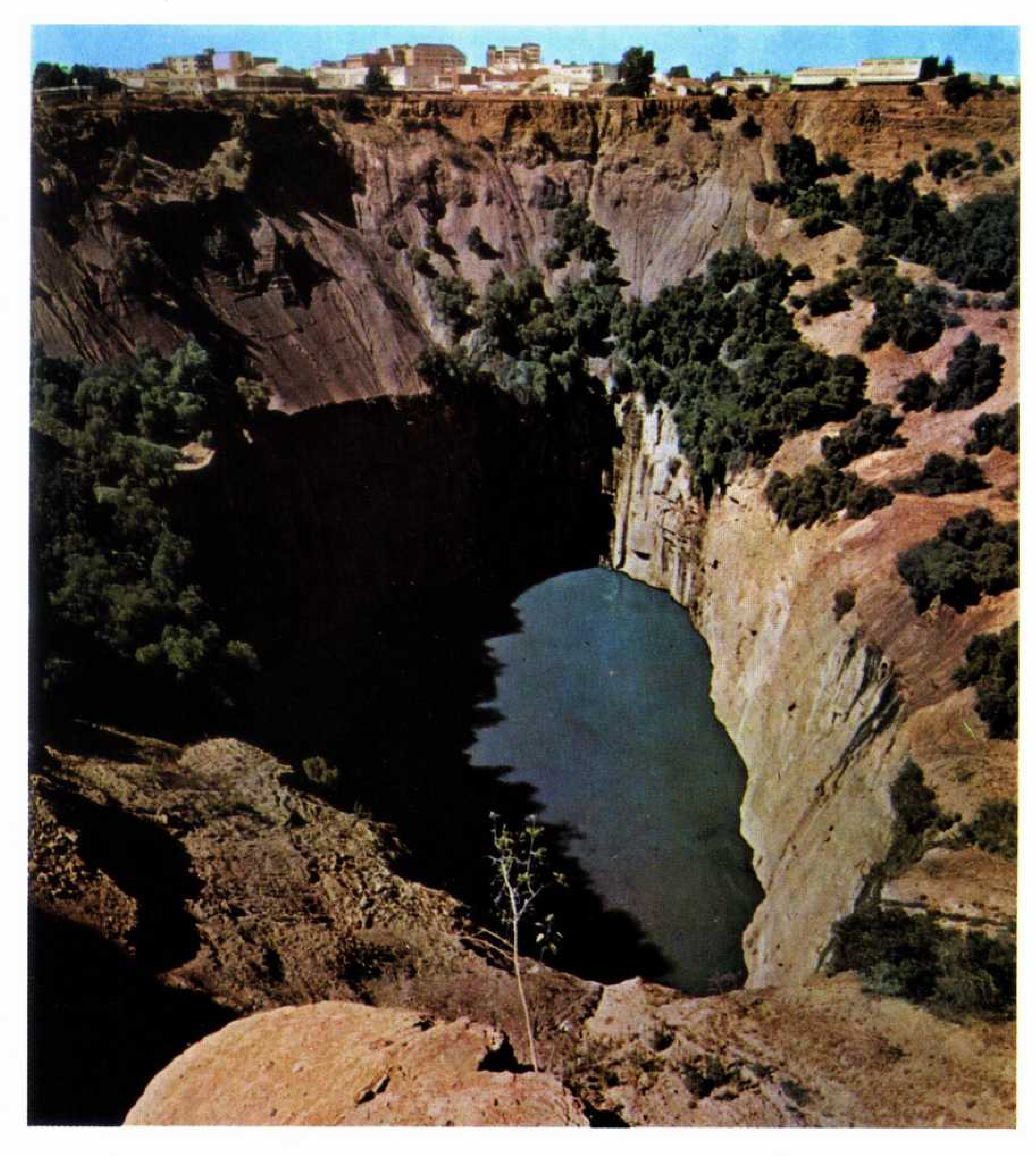


leo, los recursos actuales de la plataforma son aún limitados. Naturalmente, una de las más antiguas explotaciones es la del carbón: los yacimientos de hulla que se prolongan bajo el mar del Norte, al este de Inglaterra, son aprovechados desde hace más de un siglo y medio (Julio Verne los utilizó como tema para su novela *Las Indias negras).* Las minas de estaño de Cornualles, explotadas desde hace más de tres mil años, se extienden también bajo la corteza sedimentaria del canal de la Mancha. El azufre y la sal constituyen importantes dominios submarinos en numerosas regiones del globo, desde México hasta el golfo Pérsico.

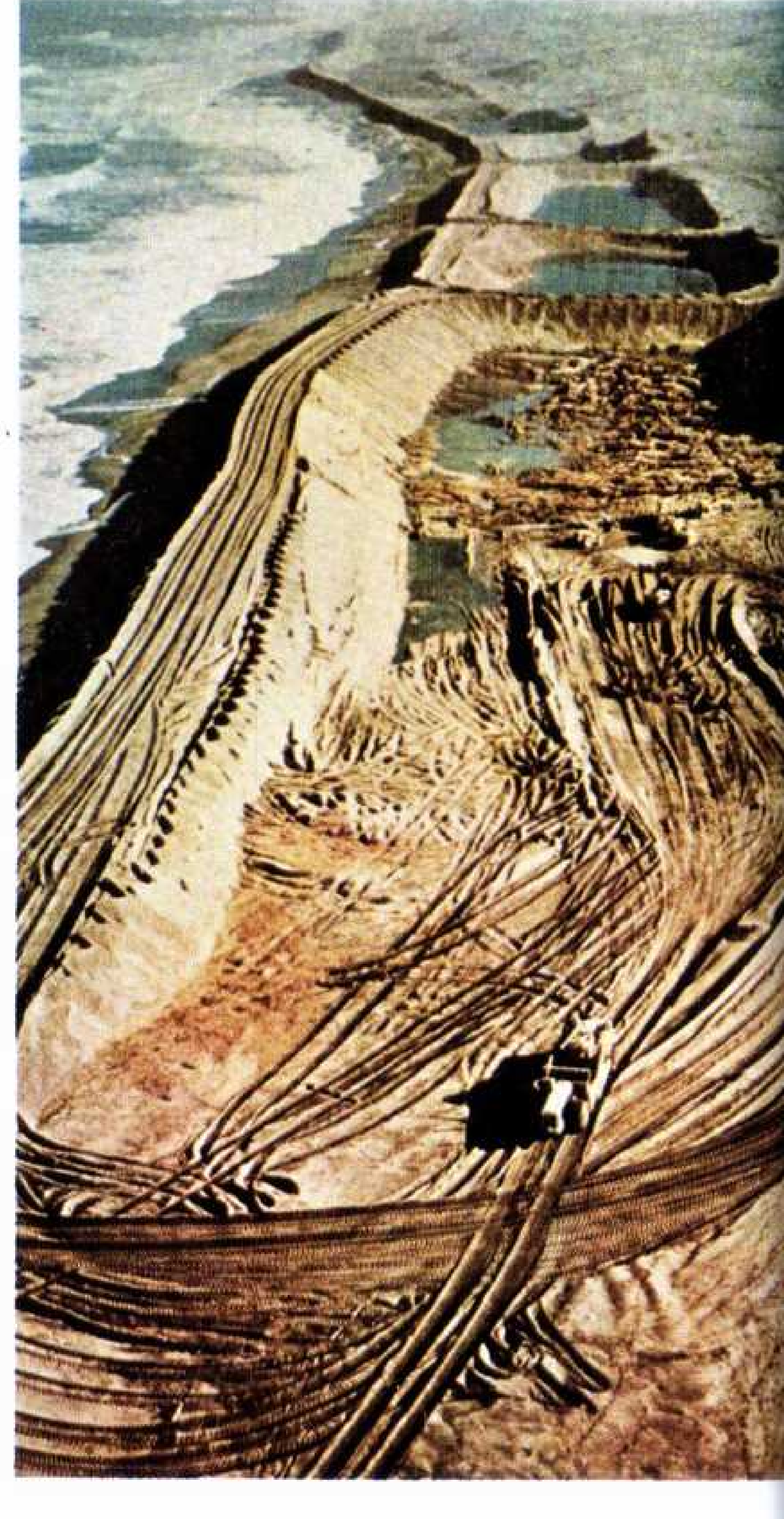
Nuestra civilización constructora se muestra ávida de materiales para erigir sus carreteras, sus edificios, sus aeródromos, sus puertos, etc. Entre las riquezas esenciales de la plataforma continental figuran las arenas, los guijarros y las gravas. Estos materiales son explotados de una forma cada vez más sistemática e intensiva, lo cual va a provocar no pocos problemas en el medio. La importancia de los yacimientos *offshore* de estos materiales depende muy directamente del clima de las regiones continentales adyacentes. Los grandes ríos llevan al mar una parte de las partículas terrosas, de tamaño variable, que han arrancado a las montañas y a las altas mesetas continentales.

De una forma general, se puede decir que los depósitos de origen marino (traídos por las corrientes de alta mar o las subidas de aguas profundas) son tanto más importantes cuanto más débil es la erosión en los continentes adyacentes. Y que, a la inversa, los depósitos debidos a los ríos son tanto más masivos cuanto más intensa sea la erosión continental. Los propios yacimientos se organizan de diferentes formas, según un complejo conjunto de leyes físico-químicas. La masa de las diversas partículas determina su lugar en el depósito; las más pesadas son las primeras en llegar al fondo, mientras que las más ligeras son llevadas mucho más lejos por el flujo acuático.

Diamantes en playas





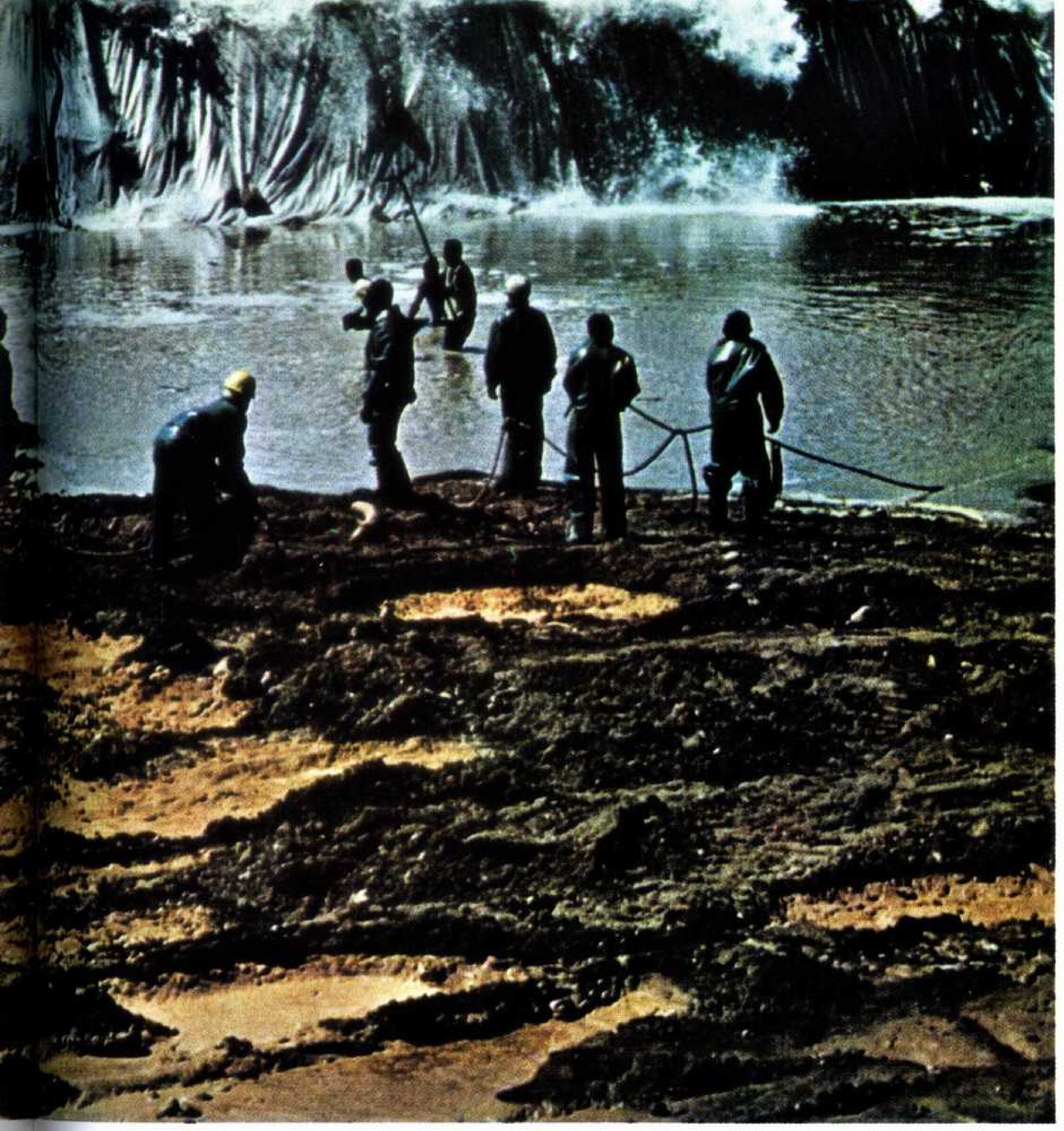


DESDE los primeros descubrimientos de diamantes en la región de Kimberley, en Africa del Sur, se multiplicó la búsqueda de nuevos lugares comparables en numerosas comarcas del mundo. Los geólogos no comienzan, evidentemente, el rastreo de diamantes de una forma directa, sino de las «tierras azules», susceptibles de contenerlos, y que se llaman kimberlitas. Las gemas están dispersas en ese material arcilloso trabajado por agentes tectónicos y atmosféricos. Las kimberlitas se encuentran, generalmente, en una especie de pozos circulares verticales: los diamantes han sido inyectados allí desde las grandes profundidades. Se sabe hoy que tales cráteres han sido horadados por gases volcánicos bajo presión, que así se escaparon a través de la corteza terrestre desde profundidades del orden de 50 a 70 kilómetros. Es bajo la doble influencia de la temperatura muy elevada y de la presión cuando el carbono cristaliza y, si es muy puro, origina esos cristales particulares llamados diamantes.

Los yacimientos de diamantes de Africa del Sur se extienden en su mayoría no lejos de la costa oceánica atlántica, allí donde los efectos de la separación de los continentes africano y sudamericano fueron también los más violentos. Los momentos cruciales de esta separación se remontan a alrededor de 100 a 150 millones de años. El conjunto del proceso fue largo, y los terrenos se encontraron expuestos durante siglos y siglos a las subidas de gases calientes bajo presión.

En las eras Secundaria y Terciaria, el nivel medio de los océanos era generalmente más elevado que el de nuestros días. Con las glaciaciones del Cuaternario descendió notablemente. En el momento de las interglaciaciones, los zócalos continentales tuvieron tendencia a elevarse, y, por otra parte, los efectos de la erosión debida a las aguas superficiales se acentuaron. Así es como las corrientes de agua lavaron las zonas de acumulación de kimberlitas. Llevaron montones de aluviones, entre los cuales figuraban, naturalmente, los diamantes. Estos últimos, muy resistentes (son los minerales más duros conocidos), se encontraron enterrados bajo los conos de deyección de los arroyos y en las masas aluviales de los ríos, donde aún pueden ser hallados.

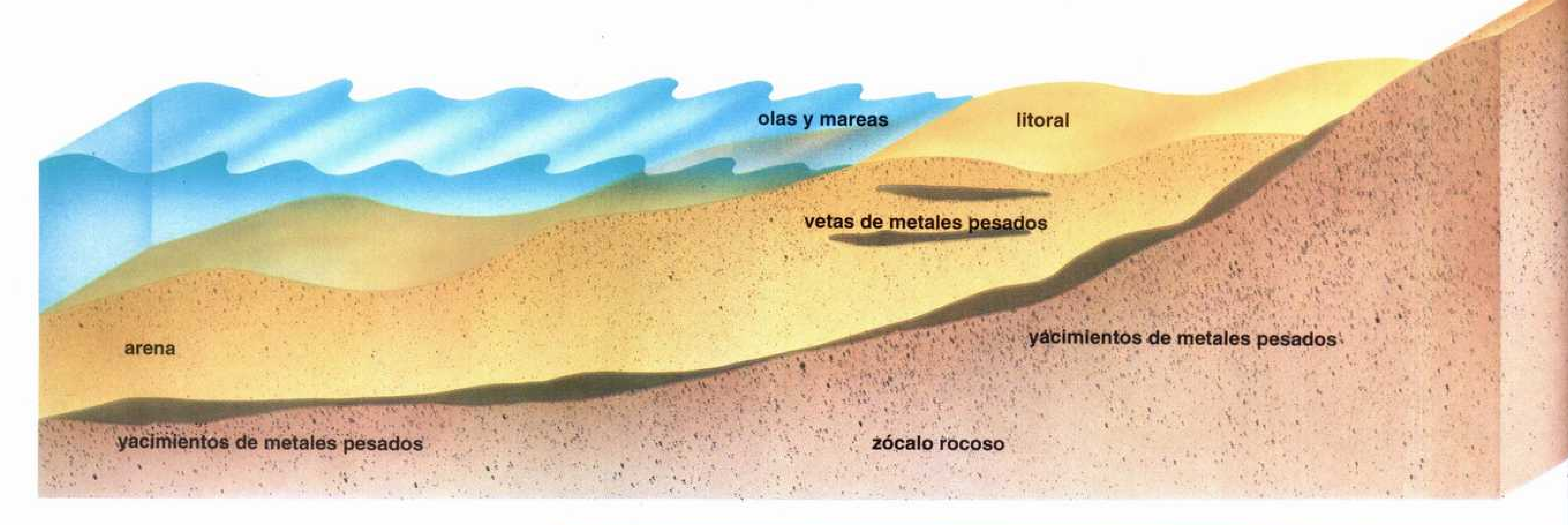




En ciertos lugares, los diamantes arrastrados por los ríos llegaron hasta el mar: duermen hoy día entre los sedimentos de la plataforma continental, a lo largo de las costas... Como los diamantes son muy densos, no son llevados nunca muy lejos de los márgenes costeros. En la medida en que las variaciones del nivel general de los mares se han sucedido, edificando playas fósiles a diversas alturas (de −170 metros a +50 metros en relación al nivel actual del mar), las personas que se interesan por los diamantes los buscan tanto en arenas recientes como en terrenos sedimentarios correspondientes a niveles fósiles.

Los depósitos aluviales. *El esquema inferior muestra cómo los materiales procedentes de la erosión de la chimenea volcánica son transportados hacia el mar por los ríos, hasta las playas. Las regresiones marinas, unidas a la elevación del zócalo costero local, originan el nacimiento de las terrazas, de las playas fósiles sobreelevadas. Pueden encontrarse diamantes tanto en el lecho actual del río como en las playas creadas en el curso de las eras geológicas. Página de la izquierda, arriba: el famoso* Big Hole *en la región de Kimberley, en Africa del Sur. Página de la izquierda, abajo: una moderna explotación de diamantes en la costa atlántica de Africa del Sur. Al lado, a la izquierda: las olas del mar han logrado romper parcialmente un dique edificado para permitir la explotación de yacimientos diamantíferos.*

Los metales pesados



Los diamantes son muy densos, y tienen tendencia a concentrarse en la parte superior de las playas. Son sobre todo muy escasos, por supuesto. Otros muchos minerales, de los cuales algunos tienen un valor comercial, se han concentrado también por distintas partes de los aluviones y las arenas de las orillas marinas. Tales yacimientos son llamados clásicos por los geólogos, pero se les conoce también por el vocablo más familiar de *placeres*. La palabra española «placer» fue adoptada en este sentido por otros idiomas y popularizada por los buscadores de oro americanos en California, y más tarde en Alaska. Hoy es empleada por todo el mundo.

De hecho se llaman placeres a todos los lugares en los que se explotan minerales que se concentraron por un curso de agua o por el movimiento de olas, marejadas y corrientes. Para dar lugar a un placer, los minerales deben ser más densos que las gravas y las arenas en el seno de las cuales se acumulan. Han de ser también más duros que estas últimas, ya que, de no ser así, la erosión y el desgaste debido a los frotamientos los haría desaparecer poco a poco.

Los minerales de los placeres deben además resistir las agresiones de tipo químico, los agentes atmosféricos y la acidez de las aguas de ciertos ríos.

Los principales yacimientos clásticos (placeres) que buscan los geólogos, y que las sociedades mineras explotan, son naturalmente aquellos que contienen metales raros (oro, plata, platino) o piedras preciosas (además de los diamantes, ya mencionados, se encuentran a veces placeres de rubíes, zafiros, etc.). Otros minerales también interesan al hombre, como el rutilo, la magnetita, la monacita, el circonio, los granates, etc.

El oro y la plata no son duros, pero sí maleables. Esta propiedad les permite concrecionarse en bloques irregulares, de tamaño variable, llamados pepitas. Estas pepitas no se encuentran en los filones





principales de esos metales preciosos, sino solamente formando parte de los placeres fluviales o marinos. Se ignora aún de qué manera se forman: las leyes físicoquímicas que dirigen su constitución todavía permanecen oscuras. El estaño es también un metal blando; se encuentra sobre todo en la naturaleza bajo la forma de un óxido, la casiterita. Los yacimientos de estaño más ricos del mundo están localizados en la desembocadura de los ríos de Malasia.

Puede uno preguntarse cómo los ríos o las corrientes marinas logran transportar metales muy densos a través de considerables distancias. En efecto, este transporte a larga distancia no afecta más que a las partículas de tamaño muy reducido, a veces casi microscópicas, y se supone que ciertos seres vivos (bacterias, algas unicelulares) juegan un papel esencial.

Una vez que los metales han sido extraídos del filón original, transportados por el agua e incorporados a los aluviones o arenas, hay que explicar todavía cómo se aglomeran en unidades de gran tamaño. En este punto, la gravedad es esencial. Las partículas pesadas, cuando son removidas por inundaciones o por las infiltraciones freáticas, tienden a descender y reunirse en las zonas más bajas de la capa sedimentaria, mientras que los elementos menos densos (arenas, etc.) afluyen a la superficie.

Las playas fósiles, donde se encuentran yacimientos minerales interesantes, son generalmente paralelas a las playas actuales. Su explotación resulta bastante difícil, por razones a la vez ecológicas y estéticas. Sondeándolas para extraer los metales deseados, se atenta inevitablemente contra el entorno. Como las riberas (de los ríos y del mar) se cuentan entre las zonas más densamente ocupadas por el hombre, tales explotaciones no dejarían de provocar perjuicios. Sólo en algunos casos, cuando las playas fósiles han sido alejadas de las playas actuales por dislocamientos tectónicos, pueden explotarse cómodamente.

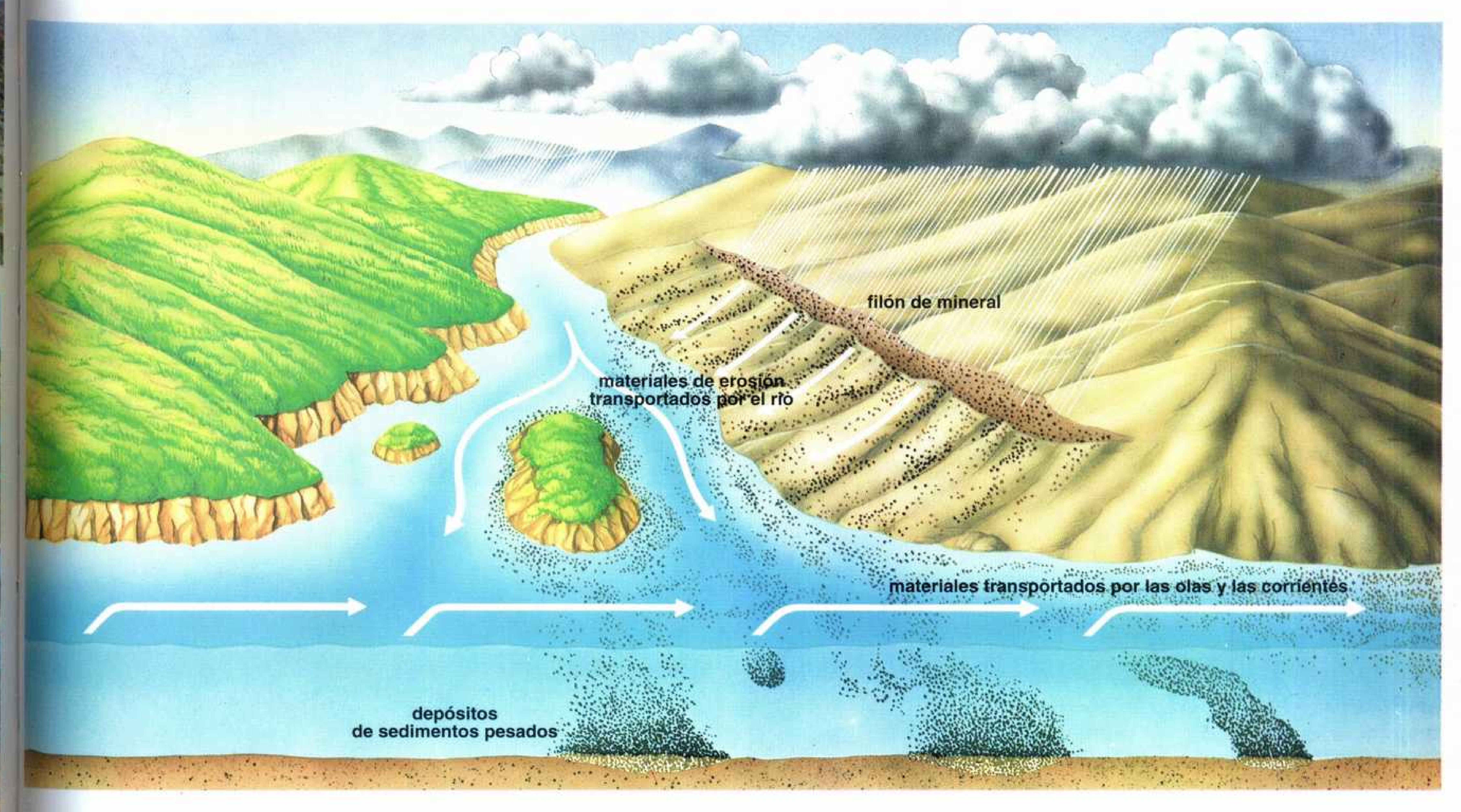
¿Dónde deben preferentemente buscar los geólogos los yacimientos de eventuales placeres? Los lugares más favorables para las acumulaciones de minerales son las playas de las regiones costeras bajas, es decir, las que se extienden sobre superficies considerables, y que dan a los minerales el tiempo necesario para precipitarse en el fondo.

Naturalmente, ésta no es la única condición. Además, es necesario que la playa en cuestión sea «alimentada» de sedimentos por corrientes importantes, derivadas de los ríos o resultantes de las subidas de las aguas profundas. Los lugares donde existen mareas de gran amplitud, o que estén sometidos periódicamente a la acción de los tifones, son más adecuados que otros.

Las regiones subtropicales provistas de este tipo de playas son las que más interesa explorar. En las zonas de latitud muy elevada, sobre todo las que están sometidas a la acción erosiva de los glaciares, las posibilidades de encontrar placeres son muy reducidas.

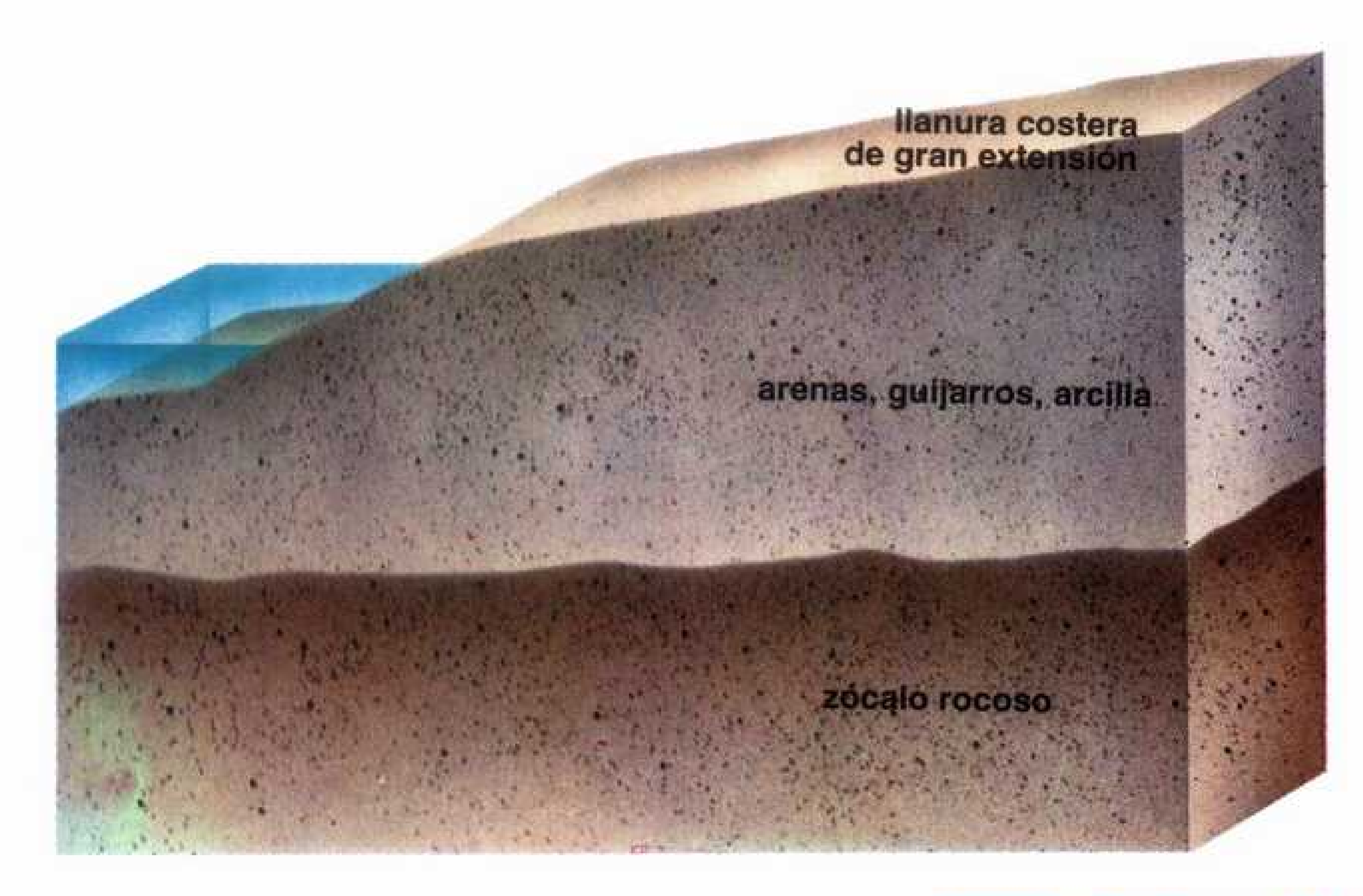
Por supuesto, los sitios más prometedores son los que están situados aguas abajo de regiones continentales a su vez ricas en yacimientos minerales: los ríos llevan esos minerales al mar poco a poco, día a día...

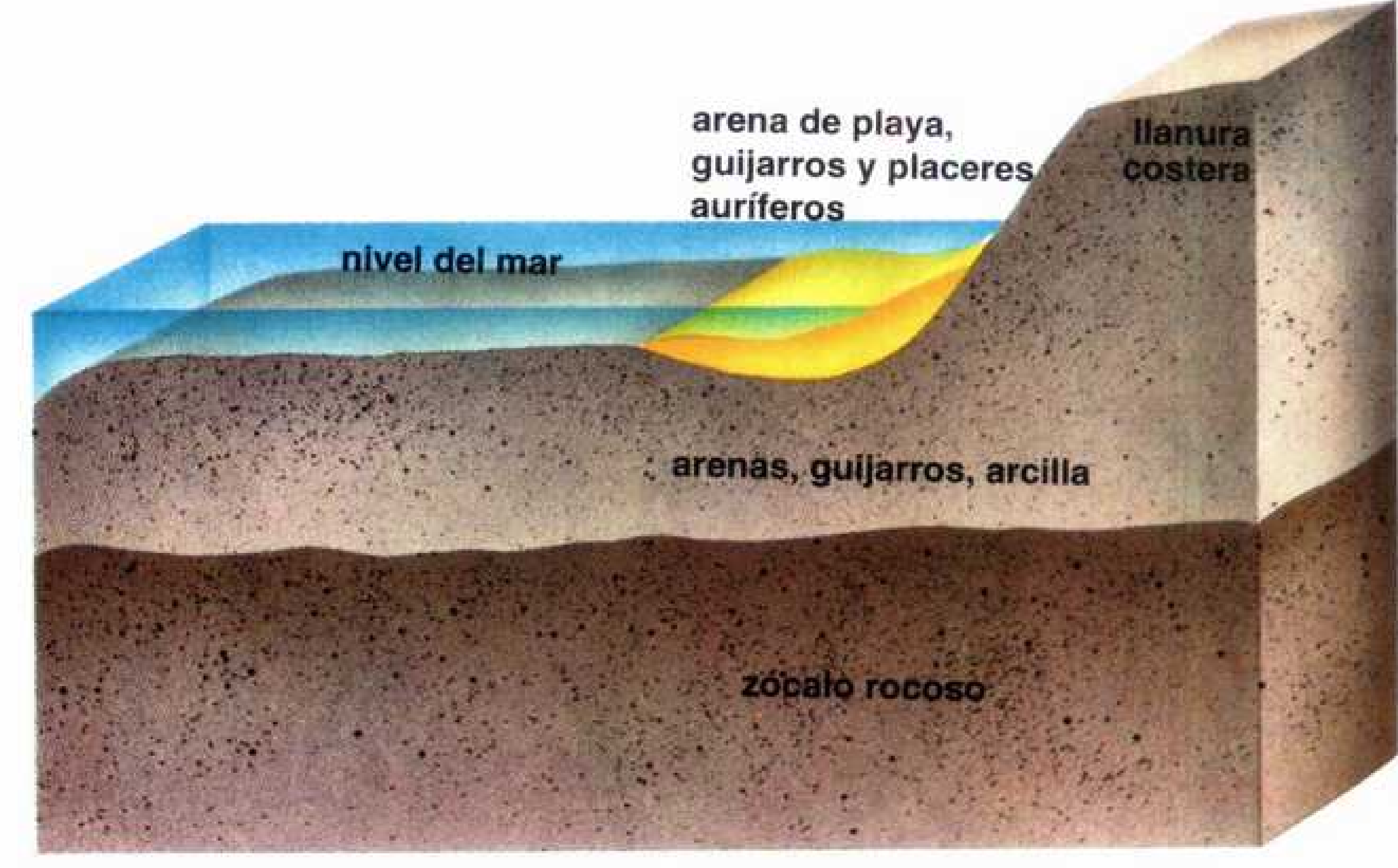
En efecto, resulta difícil encontrar todas estas condiciones reunidas. Las regiones continentales más ricas en minerales susceptibles de ser lavados por las aguas son aquéllas donde el antiguo continente de Godwana se fracturó, hace aproximadamente unos 200 millones de años. Las más importantes de estas zonas están situadas en el sur de Africa, a lo largo de las costas del océano Indico y de las costas orientales de América del Sur.



Los sedimentos pesados. *La mayor parte de los metales descubiertos en el mar están presentes en forma de yacimientos de origen aluvial. Las aguas de escorrentía arrastran hacia el mar las partículas metálicas. Al contacto con las marejadas, las olas y las mareas, dichas partículas tienen tendencia a acumularse en placeres. Estos pueden encontrarse al cabo de cierto tiempo por encima del nivel del mar si la costa se eleva. El esquema superior describe el fenómeno del transporte de los minerales pesados hacia el mar, y el de la página anterior, arriba, muestra cómo se organizan los placeres. Página de la izquierda, en el centro: playa de piedras y guijarros. Página de la izquierda, abajo: canales de marea en la bahía de Fundy, situada en la zona sudoriental de Canadá.*

El oro y el estaño de los mares





TRADICIONALMENTE, la extracción del mineral contenido en placeres aluviales se hace a mano. Todos tenemos la imagen del buscador de oro al borde del río, con su batea entre las manos. El hombre deposita en el fondo de ese recipiente de altos bordes un puñado de aluviones. Hace oscilar suavemente el conjunto con un poco de agua: las partículas más pesadas (es decir, las de metales preciosos) caen al fondo. Este método es utilizado todavía para la recolección de pepitas de oro en algunos lugares; gracias a él pueden extraerse también metales como plata y estaño. Por supuesto, cuanto más preciado sea el metal más ventajoso será el método. Los minerales de estaño, de circonio, de ilmenita, de monacita y otros no justifican este método de extracción manual.

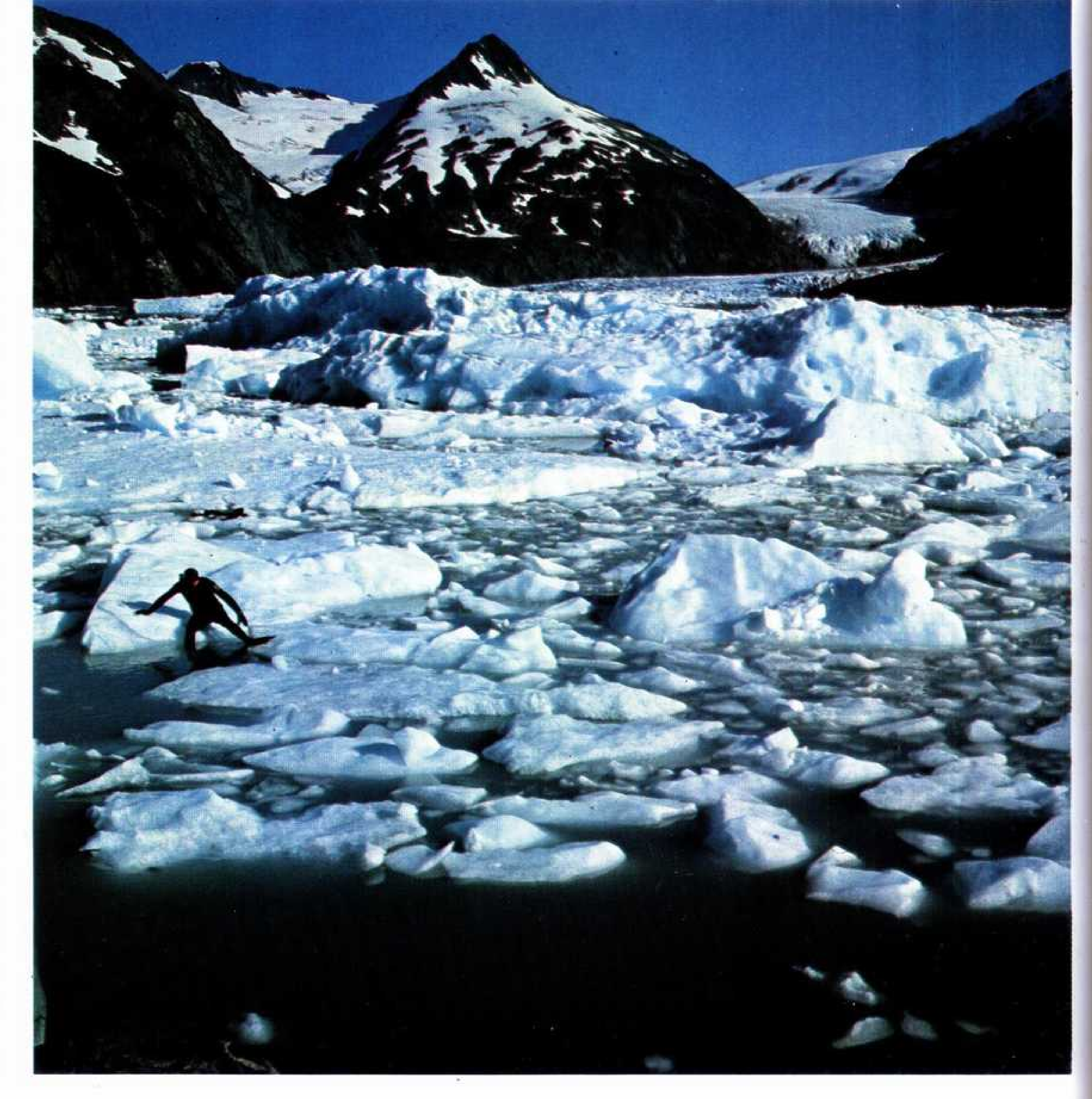
El solitario buscador de oro conoció su época dorada primero en California, en 1848; después en Alaska, a finales del siglo XIX, y más recientemente en Australia o Brasil. La «fiebre del oro» originó toda una leyenda, narraciones literarias (como las de Jack London), películas... Existió también una «fiebre de la plata» en México, y lo que podríamos denominar «fiebre del estaño» en Malasia, ciertas islas de la Sonda y en Australia. El platino ha sido particularmente buscado en Colombia; los rubíes y los zafiros, en Sri-Lanka, India y Birmania; las esmeraldas, en Brasil y Colombia... Hoy día, la fiebre del oro calienta todavía regiones enteras del Brasil (el río Madeira, Sierra Pelada), donde tradicionalmente algunos aventureros continúan buscando también esmeraldas.

Es en Malasia e Indonesia (en Sumatra y en Borneo) donde las grandes sociedades mineras han explotado, y continúan haciéndolo, los yacimientos de estaño más considerables del mundo. Estos últimos se presentan como bolsas ricas en mineral (casiterita), que comienzan a veces en el subsuelo de una tierra firme, pero que se prolongan casi siempre al interior de los sedimentos submarinos.

Hoy, la búsqueda de placeres submarinos



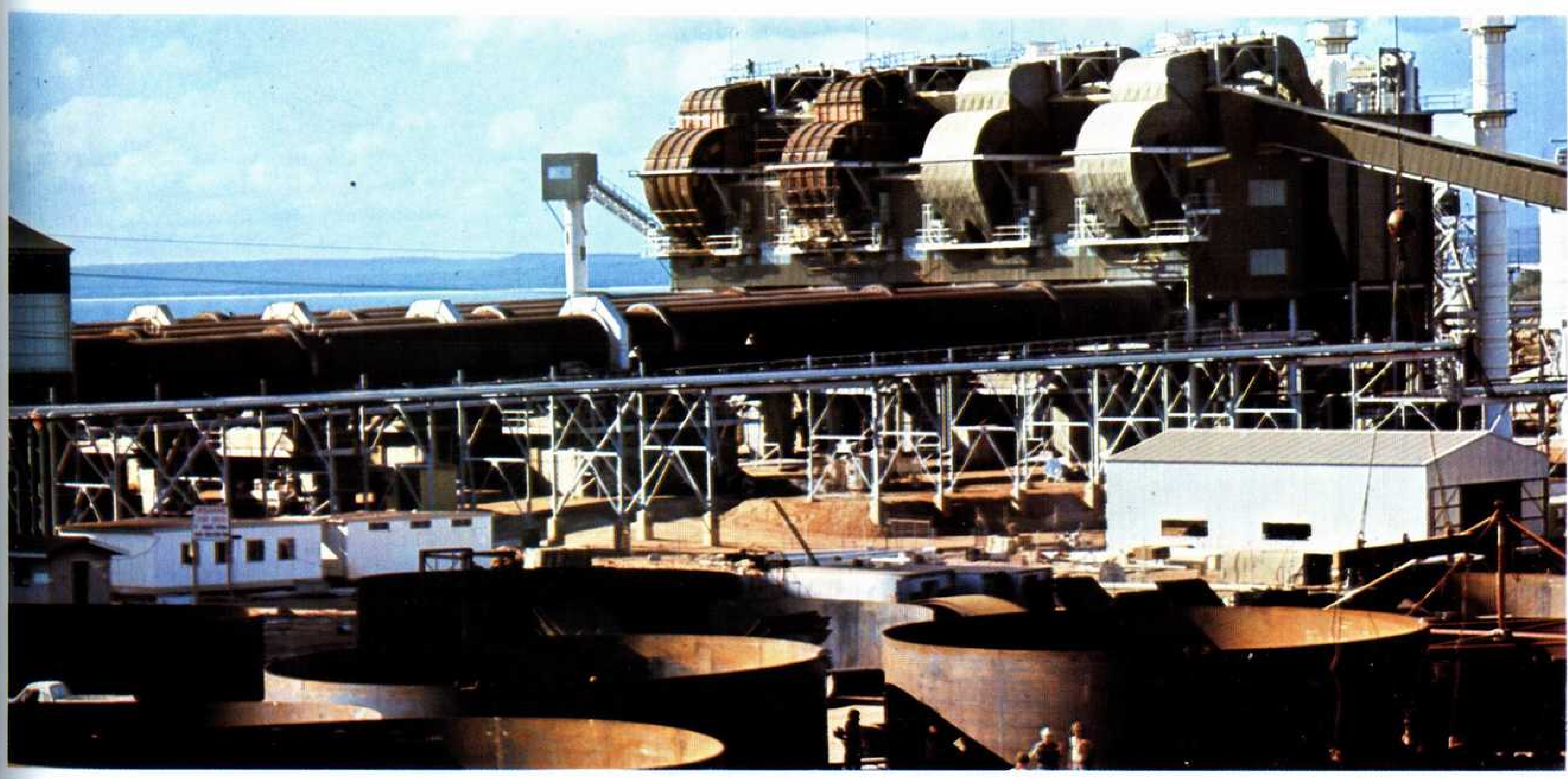
Los placeres marinos. *Los dos esquemas superiores resumen el proceso de formación de un placer aurífero litoral: la acción simultánea de la erosión costera por las aguas de escorrentía y del «reciclaje» de los metales pesados por las olas y las mareas provoca las acumulaciones. Al lado, a la izquierda: una pepita de oro de considerable tamaño encontrada en Alaska. Debajo: los actuales buscadores de oro en Alaska llegan hasta los hielos para localizar buenos placeres... Página siguiente, arriba: mapa de los yacimientos* offshore *de estaño en la plataforma de la Sonda. Página siguiente, abajo: fábrica para el tratamiento de bauxita en el golfo de Carpentaria.*





desarrollados. Sin embargo, los geólogos, para estar totalmente seguros de los resultados, necesitan siempre la confirmación de una cata. Este muestreo permite sobre todo precisar la proporción de metal en los minerales: evidentemente, cuanto más alta es ésta, más interesante es el yacimiento. Una sociedad minera holandesa, instalada cerca de Paulau Tujuw, acaba de publicar, por ejemplo, los resultados de una investigación que ha llevado a cabo: realizó 129 catas, encontrando una media de 2,7 kilogramos de estaño por metro cuadrado de placer. La reserva, para una superficie total de 740.000 metros cuadrados, es, pues, de 2.250 toneladas de metal puro.

La búsqueda de oro bajo el mar también ha conocido nuevos desarrollos. Uno de los lugares más prometedores, desde este punto de vista, es la plataforma continental del mar de Bering. Esta recibe los aluviones de los ríos de Alaska y de ciertas partes de Siberia oriental, dos regiones ricas en oro. Aunque las condiciones climáticas sean muy difíciles y la presencia de la banquisa impida prácticamente cualquier trabajo durante una buena parte del año, las sociedades mineras empiezan a trabajar en la región de la desembocadura del río Yukón.



se realiza sobre todo por sondas acústicas (ecosondas, sonar). Los geólogos siguen los lechos inundados de antiguos ríos y proceden a una serie de sondeos sonoros que les permiten localizar las anomalías del sedimento. El sonido, en efecto, se desplaza a distintas velocidades según la densidad del medio que atraviesa. En el agua de mar avanza a unos 1.700 metros por segundo, mientras que no lo hace más que a 1.600 metros por segundo en los sedimentos, y cuando encuentra una masa metálica vuelve a modificar su velocidad de propagación. Los aparatos para el registro de los ecos sonoros son muy sensibles en la actualidad y están bien

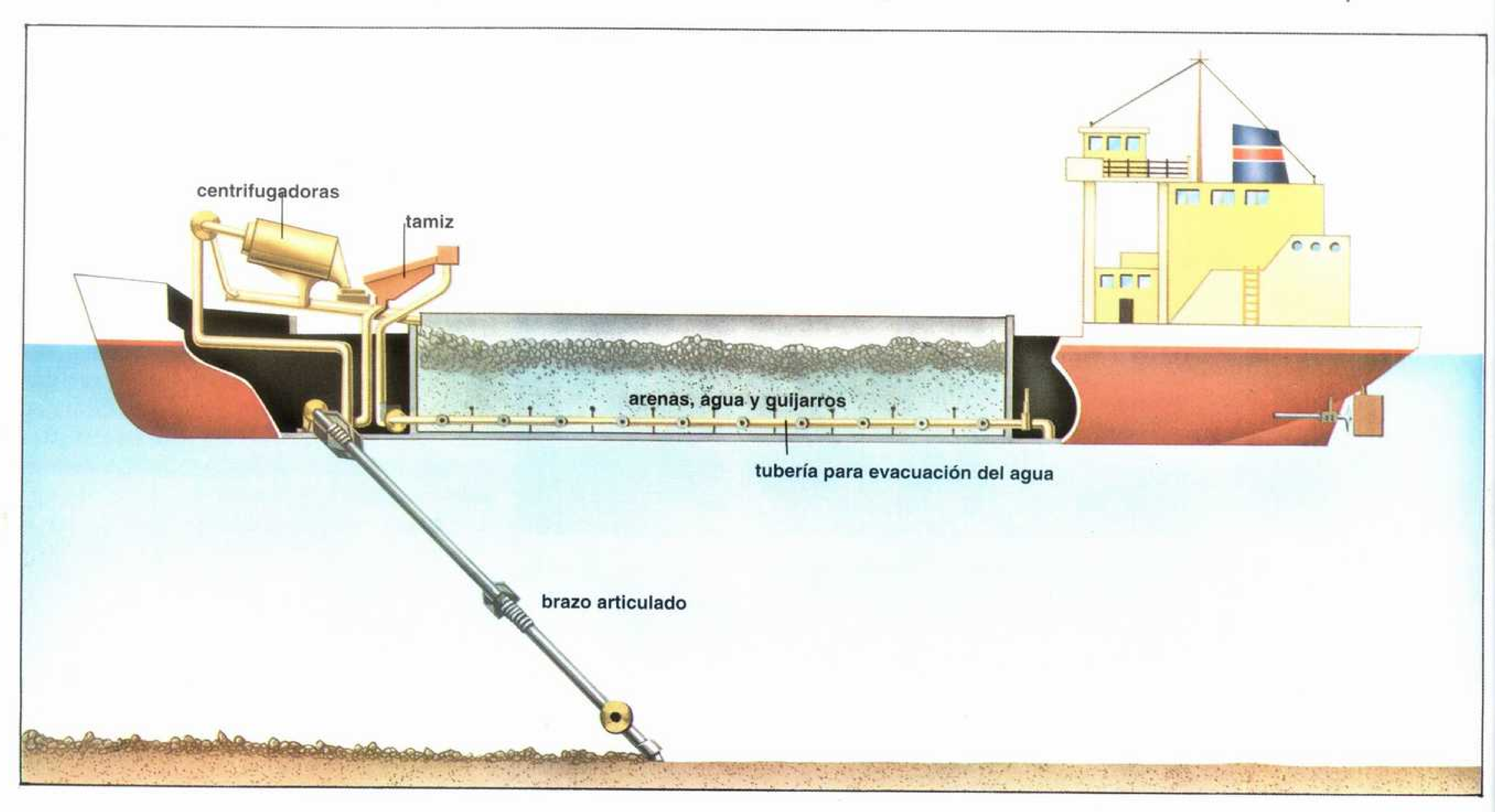
Es probable que mientras se mantengan los cursos del metal precioso, las explotaciones de este tipo sean cada vez más numerosas. Los soviéticos, no lejos de allí, explotan el oro de la región de Kolima, y también ellos se interesan por las arenas marinas que cubren la desembocadura de ese río.

Las arenas y las gravas

Los estudios de previsión lo demuestran unánimemente: nos faltarán, en los próximos años, no sólo petróleo, ciertos minerales, agua potable, etc., sino también arena y grava. El aumento generalizado de construcciones, la extensión de las zonas urbanas, el trazado de autopistas y aeropuertos: todo esto aumenta las necesidades mundiales de materiales básicos de construcción. Cada año, la demanda de arena y grava crece en varias decenas de miles de toneladas. Los yacimientos de más fácil acceso, es decir, aquellos que están situados en el lecho mayor de ríos y otras corrientes de agua, han sido muy explotados. Son cada vez más escasos. Cuanto más se utilizan, mayores problemas de contaminación de las capas freáticas se plantean. Además, las propias aglomeraciones se extienden sobre los yacimientos de los valles fluviales y estrechan por tanto las áreas explotables.

Por todas estas razones, las empresas de extracción se vuelven cada vez más hacia las arenas y las gravas de origen marino. Allí, estos materiales son aún muy abundantes. Los problemas que se plantean son, esencialmente, los de su obtención desde el fondo del mar (dragado) y los del transporte. Naturalmente, los daños causados al entorno por esta nueva actividad no son pequeños.

En toda las latitudes, las costas marinas bajas han sido lugar de acumulación de cantidades más o menos importantes de



La explotación de arenas y guijarros. El esquema superior muestra la estructura de un tipo de chalana utilizada para el dragado de arenas y guijarros marinos. La chalana está provista de un brazo articulado que aspira los sedimentos y los deposita en la cala. Un dispositivo para el tamizado y centrifugación asegura una primera separación entre los guijarros y las arenas, mientras que el agua es expulsada hacia el exterior del casco. A menudo, la explotación de arenas y guijarros marinos se efectúa simplemente con la ayuda de máquinas para el movimiento de tierras (fotografías inferiores); esta explotación de los sedimentos en la zona costera inmediata es la más peligrosa para el ecosistema marino. Página siguiente, a la derecha: una taladradora en acción.

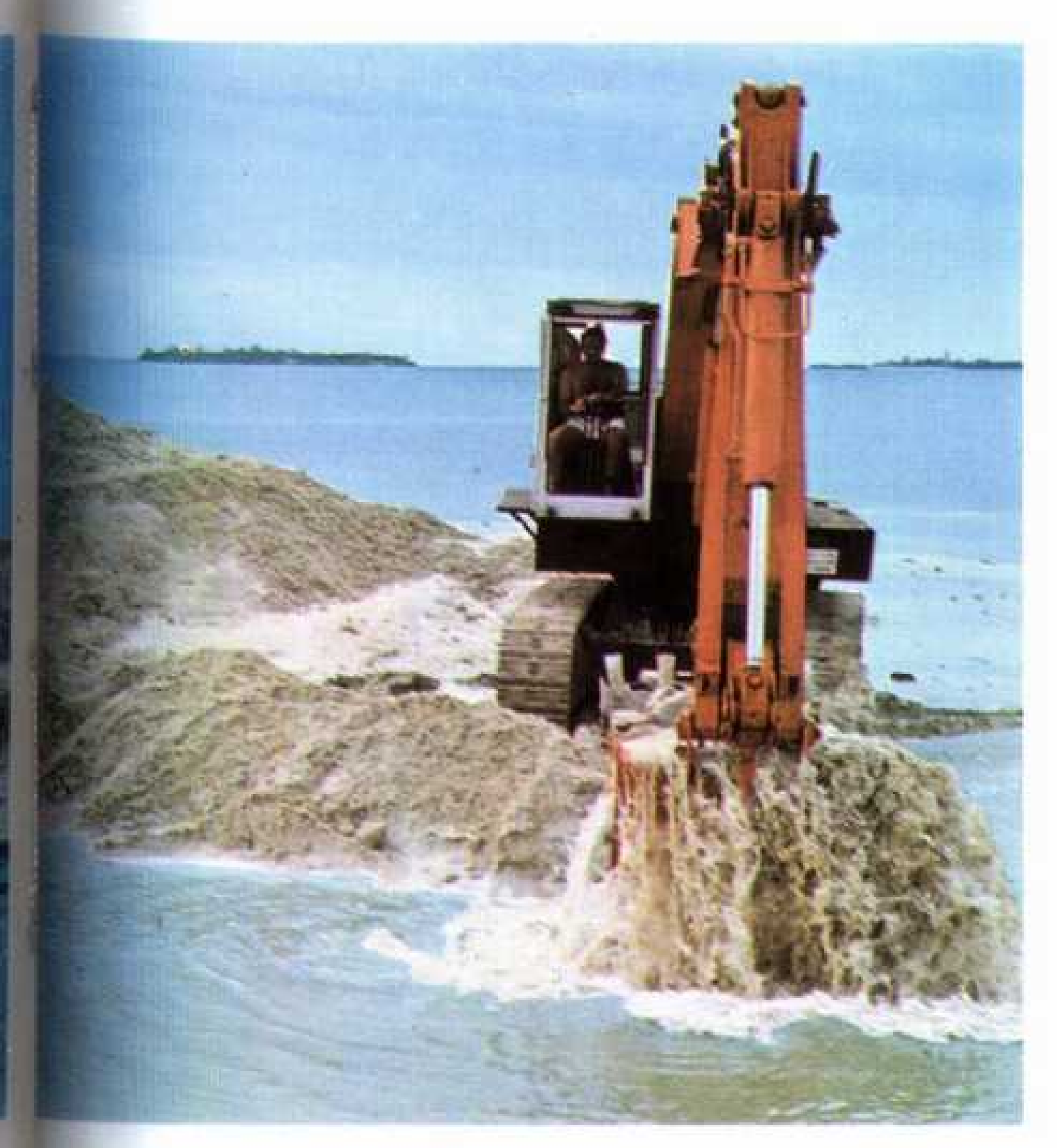


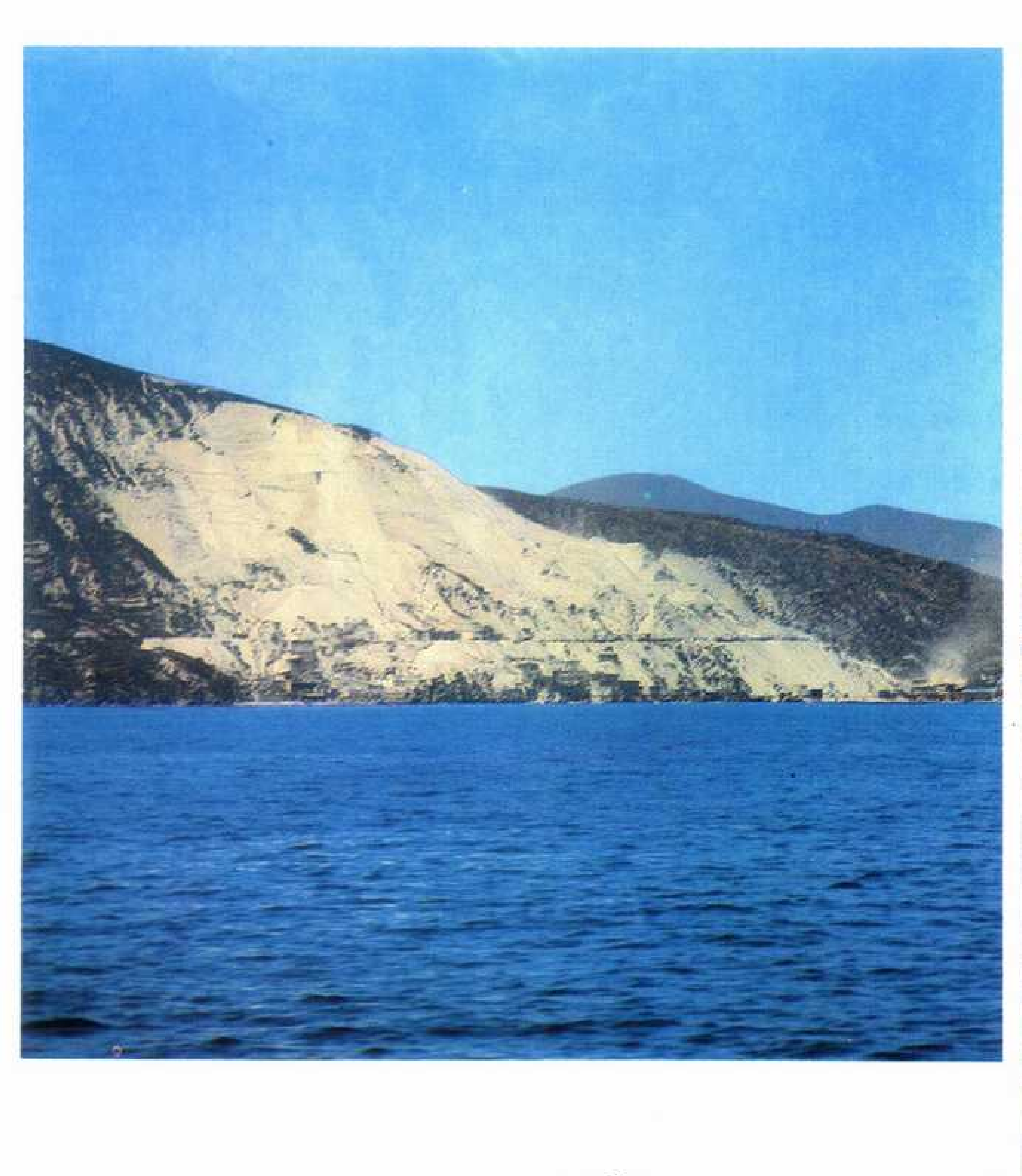


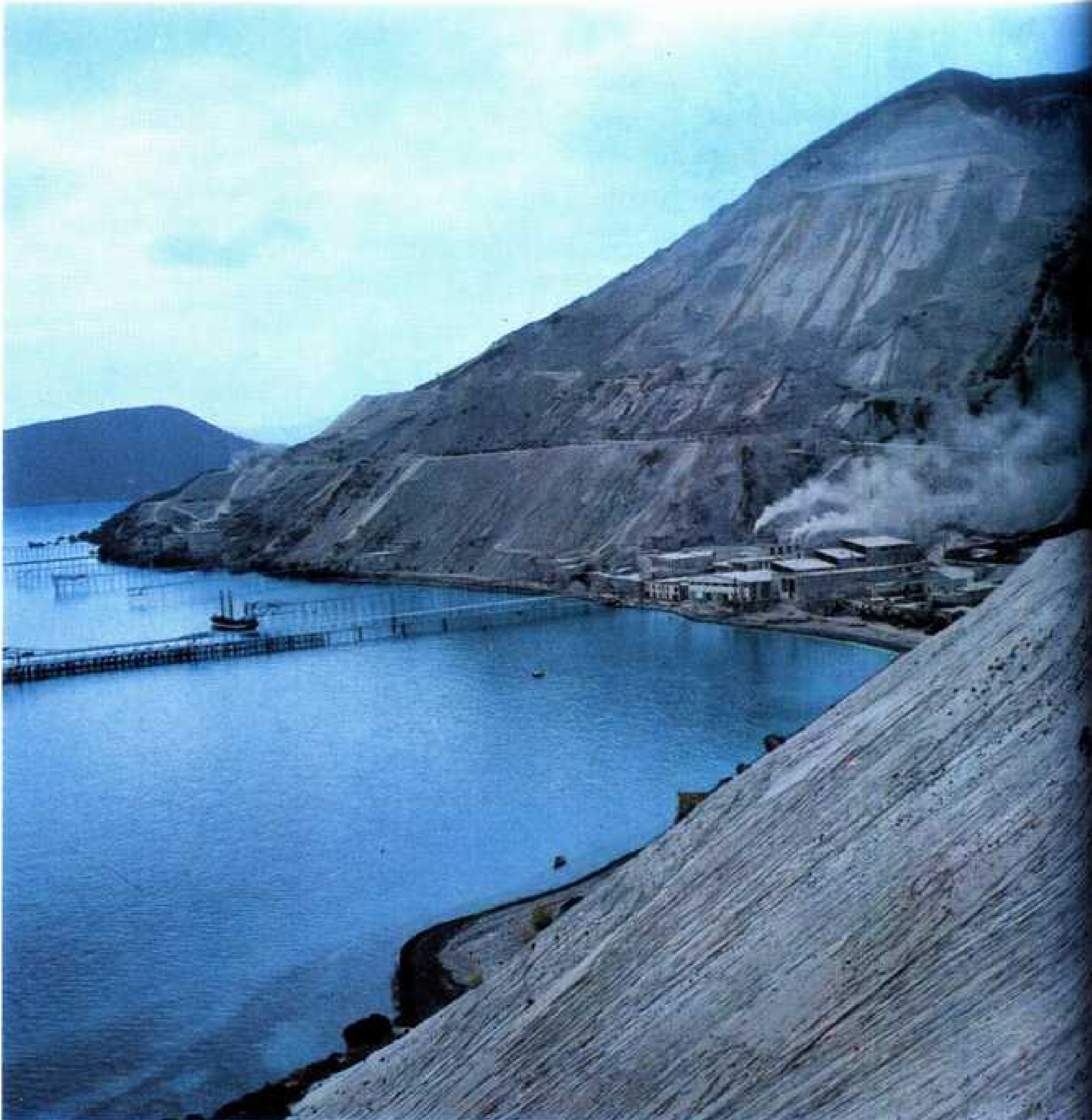
arenas y gravas. Que se exploten estas riquezas es comprensible; pero las zonas donde se efectúan las extracciones de materiales son también las más «sensibles» del mar. Es sobre los fondos de menos de 50 metros, casi siempre, donde se ponen en acción las dragas. El bentos local sufre la acción de las palas de las máquinas extractoras. Los animales son aplastados, o al menos ahuyentados de su biotopo; a las larvas se les priva del entorno que les permitiría vivir y proceder a su metamorfosis. Pero sobre todo, la flora del litoral (constituida por algas o plantas con flores como los fucus y las posidonias) es asolada; además, esta flora constituye una buena parte de la riqueza marina, ya que forma el medio donde tiene lugar la fotosíntesis —el lugar donde se fabrica la materia orgánica primaria del ecosistema—. Por otra parte, las praderas submarinas juegan el papel de «sala de maternidad» para la mayoría de las especies.

Las explotaciones de arenas y gravas submarinas aún actúan negativamente de otra forma sobre el medio vivo. Provocan una suspensión de partículas terrosas en el agua, aumentan la turbidez de ésta y, por tanto, disminuyen su transparencia. Los rayos del Sol penetran con más dificultad, y las algas planctónicas, como los vegetales fijados que las excavadoras destrozaron, ven su vitalidad reducida.

Otro material de construcción esencial es el cemento, que se produce a partir de carbonato cálcico y magnésico. La caliza se explota también cada vez más a partir de yacimientos costeros o marinos. Se da en el sur de Europa en cantidades abundantes, pero en otras regiones del mundo es menos frecuente y hay que buscar sustitutos. Este es el caso que tiene lugar especialmente en las zonas graníticas de los viejos escudos de la era Primaria (Australia, India peninsular, Brasil, Africa del Sur). Se utilizan entonces recursos mari-









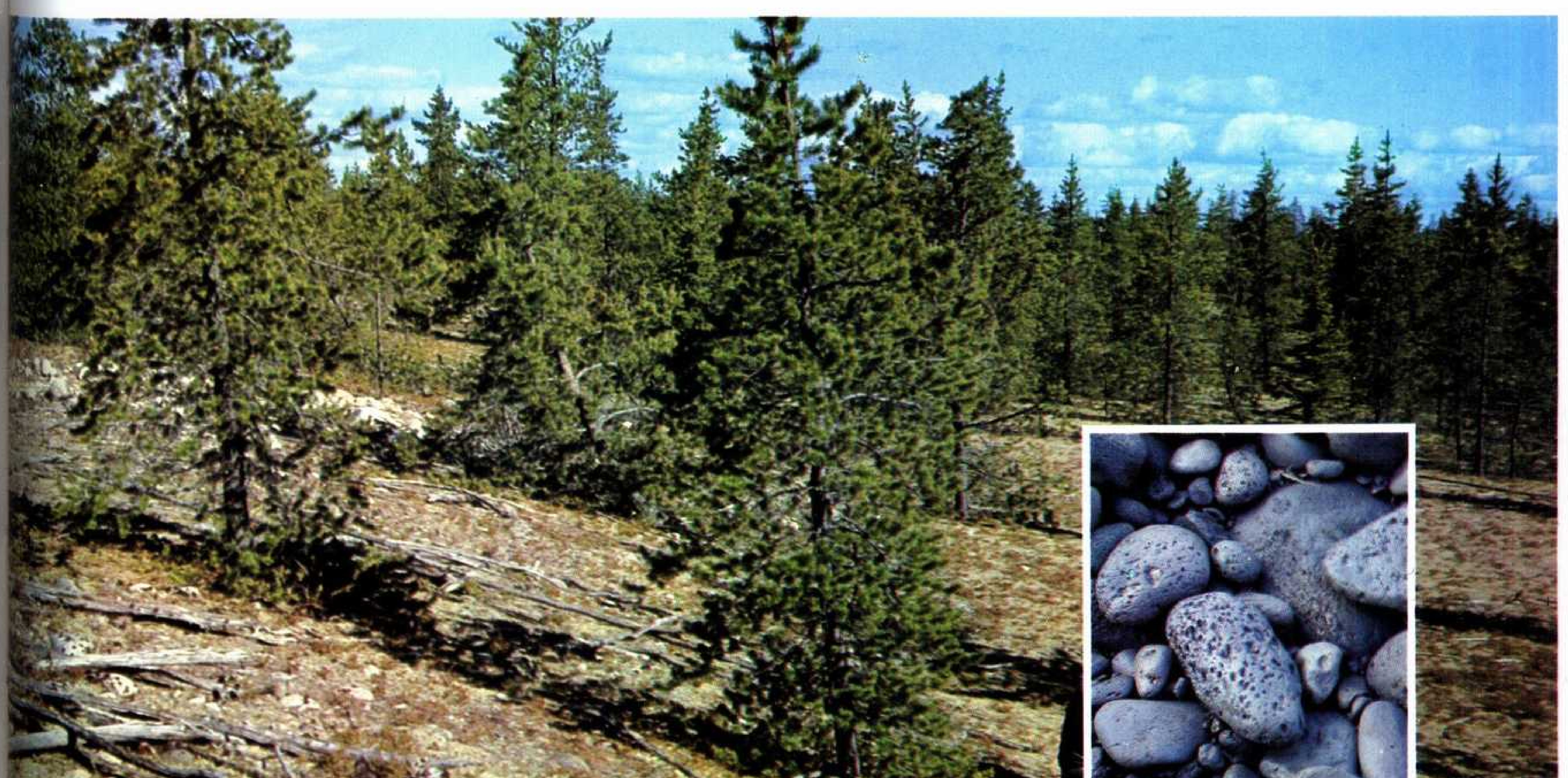
gro las soberbias y complejas comunidades de arrecifes. En algunos sitios, las sustracciones de piedras coralinas han provocado ya resultados catastróficos: la estructura del arrecife ha sido destruida. La caliza coralina, después de ser cortada, constituye un excelente material de construcción, cada vez más utilizado en países tropicales. No habría que abusar de este recurso. En otros sitios, los estragos son menos graves, ya que se utilizan para construir casas unas rocas particulares llamadas eolianitas. Son mezclas de cuarzo y de arenas carbonatadas (a veces carbonatos puros) a las que dio forma el viento (de ahí su nombre). Estas estructuras geológicas se elevan no lejos de las costas; a menudo son antiguas dunas. Hace tiempo que los hombres las explotan: excavan tradicionalmente galerías en esas rocas, extrayendo piedras para la construcción. Se piensa que los daños no son demasiado grandes mientras la explotación permanezca artesanal. Pero cuando se traslada a escala industrial, ya no es lo mismo.

nos, como bancos fósiles de ostras (cerca de Brisbane, en Australia), o simplemente arrecifes coralinos. Aun allí, los peligros para el entorno son importantes. En un gran número de atolones de coral, las extracciones de materiales ponen en peli-

Explotaciones mineras. Página anterior abajo: plataforma flotante. Página anterior, arriba: extracción de piedra pómez en las islas Lípari. Aquí arriba: explotación de calizas en Islandia. Abajo: playa fósil.







Las operaciones de explotación

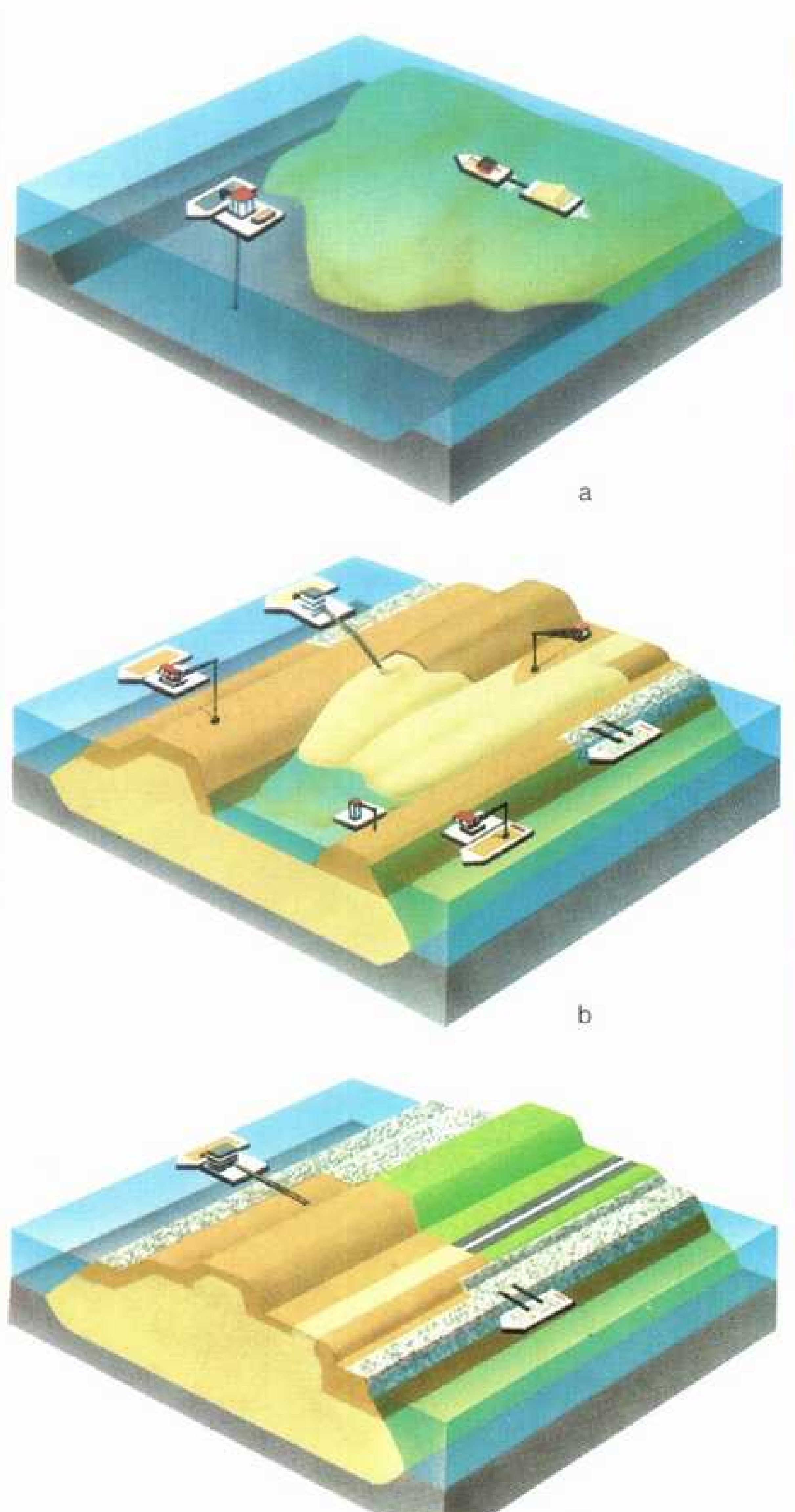
La mejora de las tierras próximas al mar comenzó realmente con los romanos. En el curso de los siglos II y I antes de Cristo se produce un eustatismo negativo —descenso notable del nivel general de los mares— de cerca de dos metros. En los llanos costeros, ello contribuyó a crear nuevas tierras explotables sobre superficies a veces considerables. El aumento de la población hizo necesaria la explotación de esos territorios, especialmente para la creación de zonas de pastos.

Al comienzo del primer milenio de nuestra era, la tendencia al descenso del nivel general de los mares se invirtió, y hacia el siglo IV éstos habían subido un metro. En algunos lugares muy llanos, una elevación tal de las aguas podría provocar la sumersión de una banda costera de más de 10 kilómetros de ancho. No hace falta recordar que a veces fue una catástrofe... Con el fin de retrasar la inevitable sumersión, algunos agricultores empezaron a construir diques. Pusieron a punto sistemas de canales de drenaje eficaces, que mantuvieron cuidadosamente. Toda la organización social fue, por así decirlo, afectada. Los trabajos colectivos se multiplicaron. Se había encontrado la estructura general de los polders.

En los Países Bajos, el problema quedó y queda todavía planteado. Desde el final de la última glaciación, el zócalo cristalino escandinavo, liberado de sus hielos, se eleva poco a poco. En contrapartida, las tierras bajas de Holanda se hunden lentamente, al ritmo de 0,1 a 1 milímetro por año. Parece poco, pero este hundimiento en realidad exige, por parte del hombre,

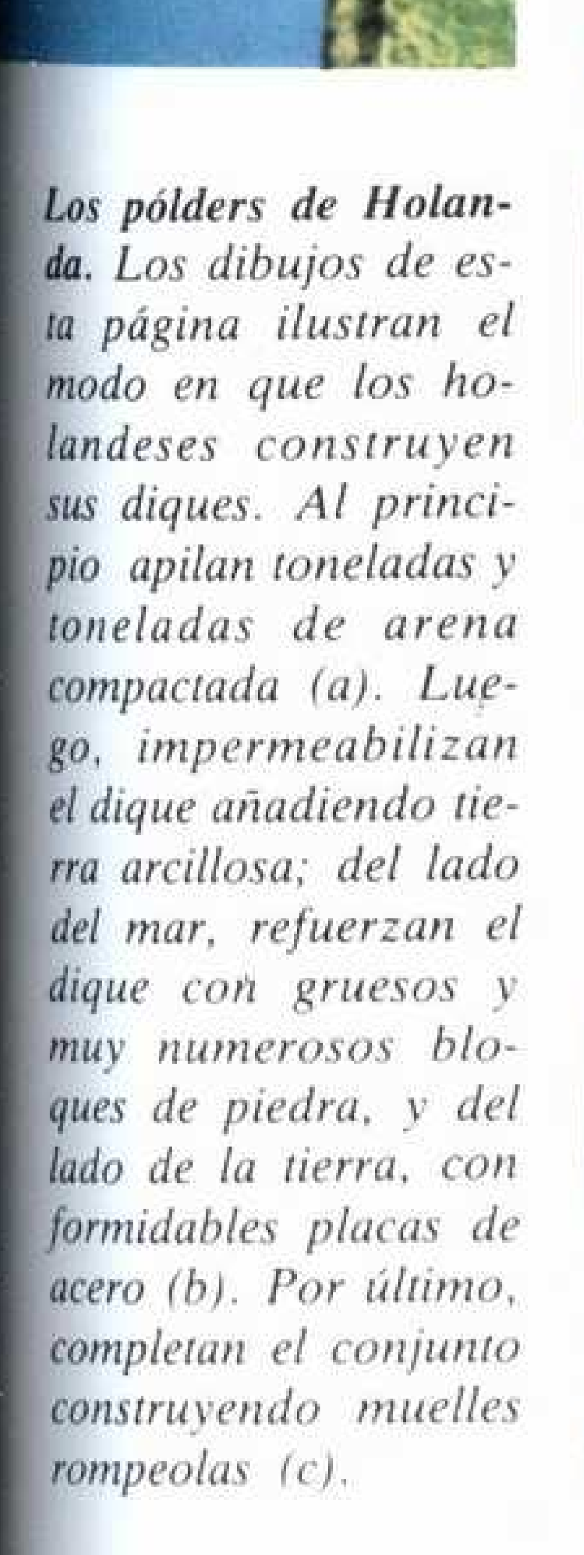




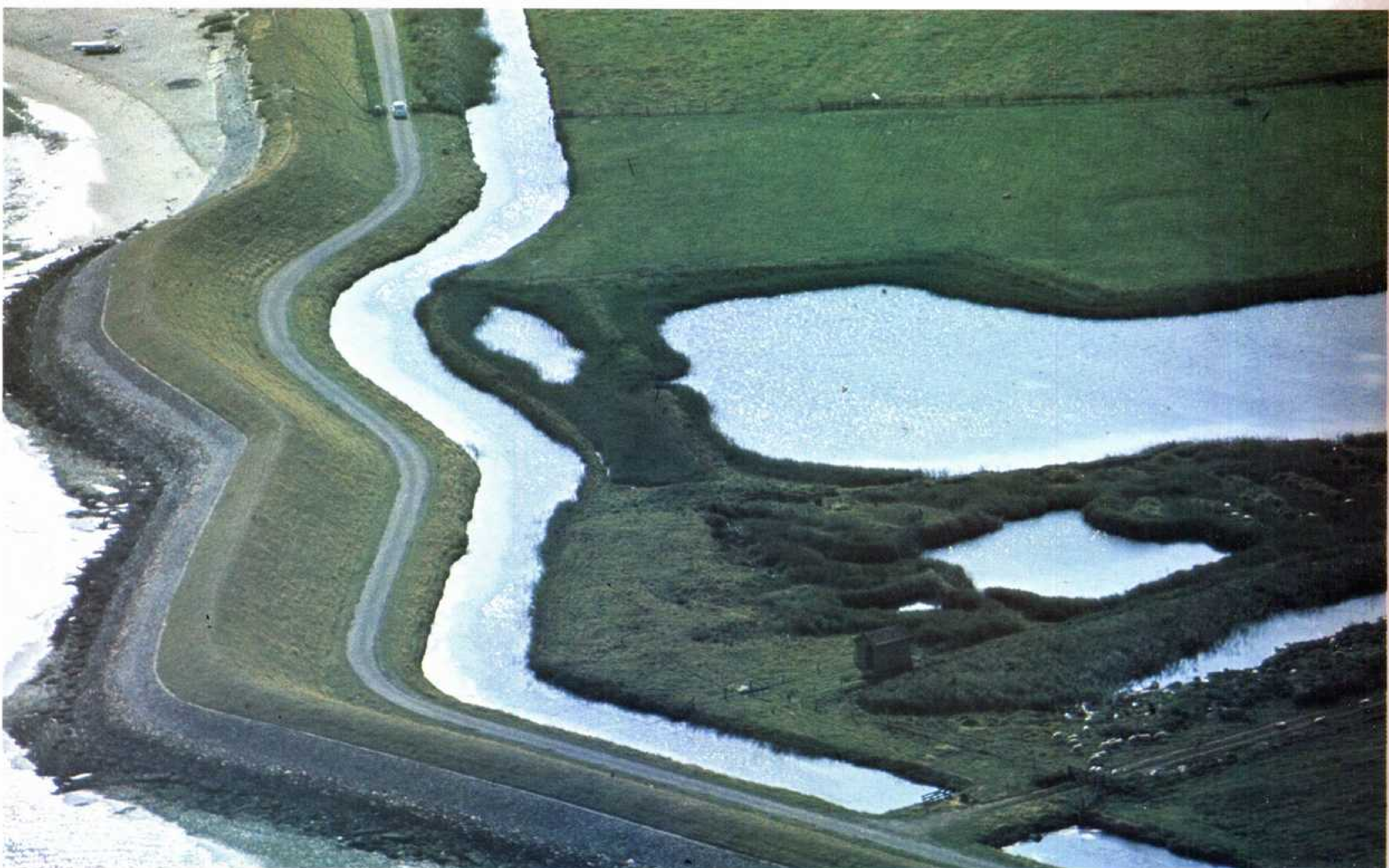




Las tierras ganadas al mar. *Los pólders holandeses han permitido ganar miles de hectáreas de terreno agrícola al mar. Hoy día, ciudades enteras con sus industrias dependen del buen estado de los diques. Página de la izquierda, arriba y aquí abajo: el dique que separa la isla frisia de Texel del mar de Wadden. Página de la izquierda, abajo: una imagen tradicional de Holanda: diques, canales y sus esclusas y un típico molino de viento.*



Los pólders de Holanda. *Los dibujos de esta página ilustran el modo en que los holandeses construyen sus diques. Al principio apilan toneladas y toneladas de arena compactada (a). Luego, impermeabilizan el dique añadiendo tierra arcillosa; del lado del mar, refuerzan el dique con gruesos y muy numerosos bloques de piedra, y del lado de la tierra, con formidables placas de acero (b). Por último, completan el conjunto construyendo muelles rompeolas (c).*



una vigilancia constante. Algunos años, cuando se da la conjunción entre una marea de amplitud muy grande y una tempestad, los riesgos de inundación de los pólders son considerables. Así ocurrió en 1953, y los Países Bajos conocieron una catástrofe que aún perdura en las memorias. En este país, más de la mitad de la población vive en efecto por debajo del nivel del mar...

Los holandeses nunca han mitigado su esfuerzo secular para conquistar nuevos terrenos agrícolas al mar, y para preservarse de la ruptura de las olas, de las mareas y las tempestades. Actualmente, construyen entre las islas del delta del Rhin y del Mosa un sistema de barreras, canales y diques de complejidad y sofisticación asombrosas.

Otra región donde la costa tiene tendencia a hundirse es la zona oriental de Estados Unidos, entre Virginia y Massachusetts. Esta comarca está comprendida entre el escudo canadiense, que comienza a la altura de Maine y que se eleva (como Escandinavia), y la península de Florida, que permanece estable. Toda la zona encierra numerosos pantanos, refugio de una vida acuática y una avifauna sumamente importantes.

Estas lagunas y pantanos, de interés ecológico evidente, están amenazados por dos factores principales. Por una parte, están protegidos contra las incursiones directas del mar por bancos de arena y grava: pero estos últimos desaparecen uno tras otro explotados por el hombre para las necesidades de la construcción de grandes ciudades como Nueva York. Por otra parte, los últimos biotopos ricos en vida de la comarca adquieren un gran valor, y el turismo los degrada.

La explotación de las tierras costeras ha comenzado igualmente, desde hace siglos, en ciertas regiones de Oriente Medio (principalmente en Mesopotamia), de la India (en el delta del Indo y del Ganges), de Indochina (deltas del Mekong y del río Rojo) y de China (deltas del Hoang ho, del Yang tze-Kiang). Los ingenieros hidráulicos orientales han dado muestra de una suerte de genio pertinaz. Por supuesto, se dieron inundaciones particularmente fuertes que, unidas a mareas muy altas, provocaron catástrofes, y cientos de miles de personas encontraron la muerte en esos desastres.

Actualmente, la explotación de las tierras bajas costeras continúa. En ciertos lugares está justificada. En otros es, por el contrario, nefasta. Los pantanos escasean en toda la superficie de la Tierra. Estas zonas húmedas son, por lo tanto, esenciales para el equilibrio general de los ecosistemas de nuestro planeta. Por todas partes son desecados con pretextos más o menos falaces (recuperación de espacios agrícolas, eliminación de mosquitos, etcétera.

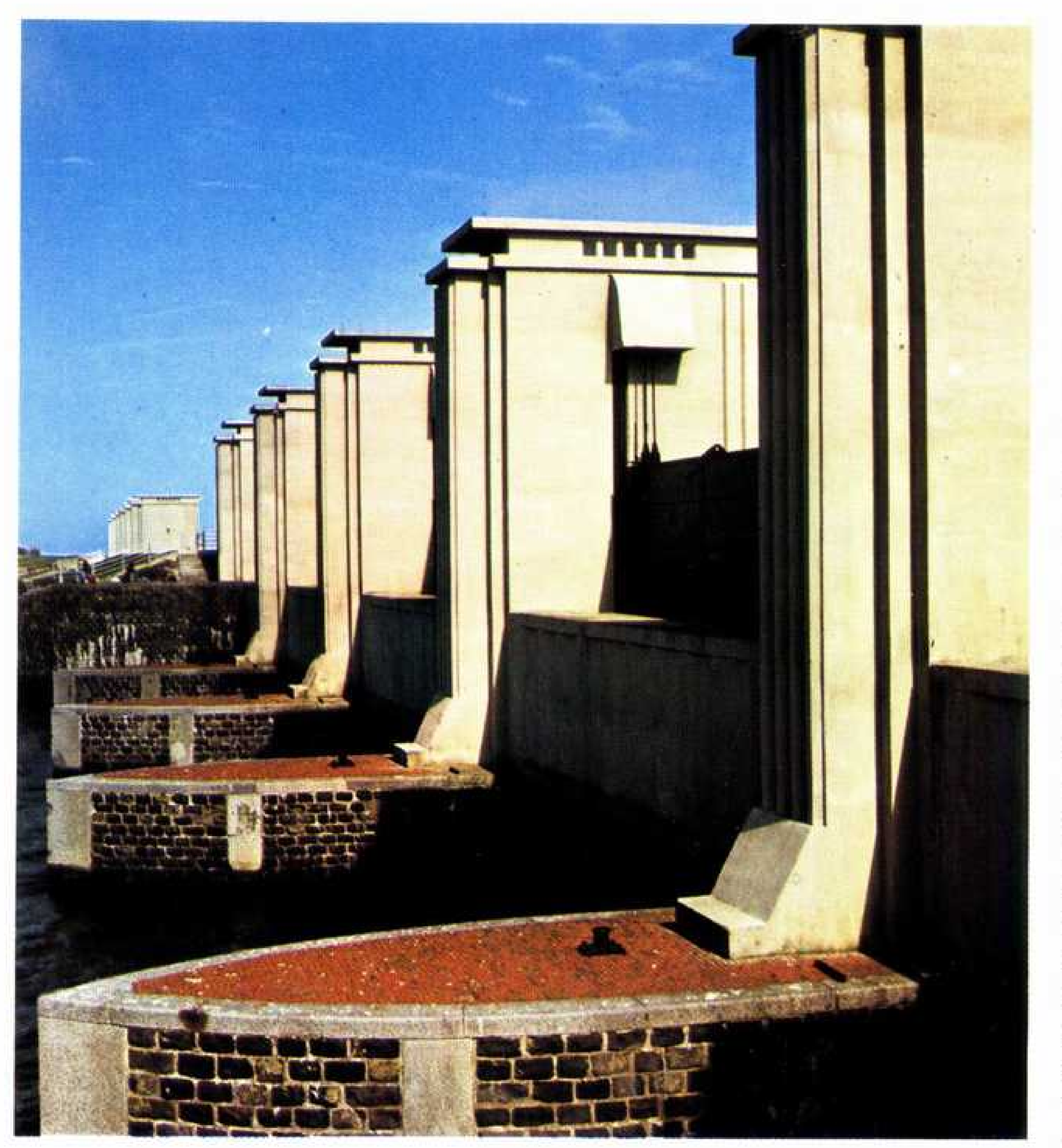
Frecuentemente, estos trabajos de «saneamiento» no son más que escusas para operaciones inmobiliarias.

Las autoridades de ciertas estaciones balnearias, por su parte, se inquietan por la desaparición de sus playas, devoradas por el mar. Intentan preservarlas, ya que se trata de uno de sus principales atractivos turísticos.

Gastan sumas considerables en ordenar trabajos que no siempre tienen los efectos esperados: la dinámica de la constitución y erosión de las playas es demasiado compleja para que los ingenieros la dominen por completo...

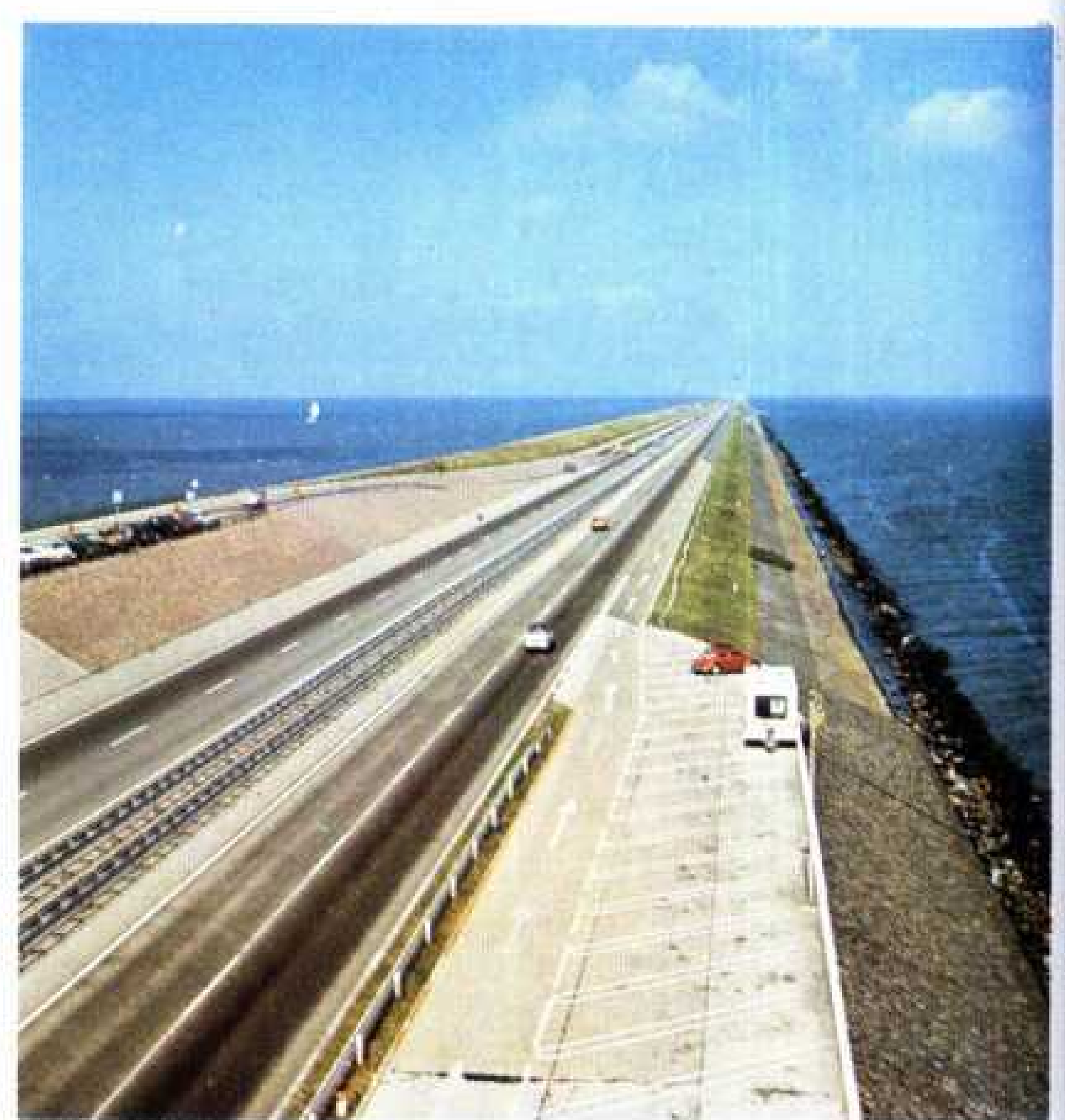
Fundamentalmente, los geólogos se preguntan si la reducción de las playas no es un fenómeno mundial, independiente de todas las causas locales. Algunos entre ellos emiten la hipótesis de que la parte esencial de los materiales que componen los extensos arenales costeros no ha sido aportada al mar por los ríos, como se pensaba por lo general y como se tiene la tendencia a creer intuitivamente. Suponen que la porción esencial de esos materiales ha sido arrancada a los continentes por los glaciares en el curso de las glaciaciones. Nuestras playas actuales se reducen porque vivimos de ese capital, y se agota.


La arena, arrastrada por las corrientes marinas, va a depositarse en los grandes fondos, en las regiones abisales; y los aluviones de los ríos no son suficientes para reemplazarla.



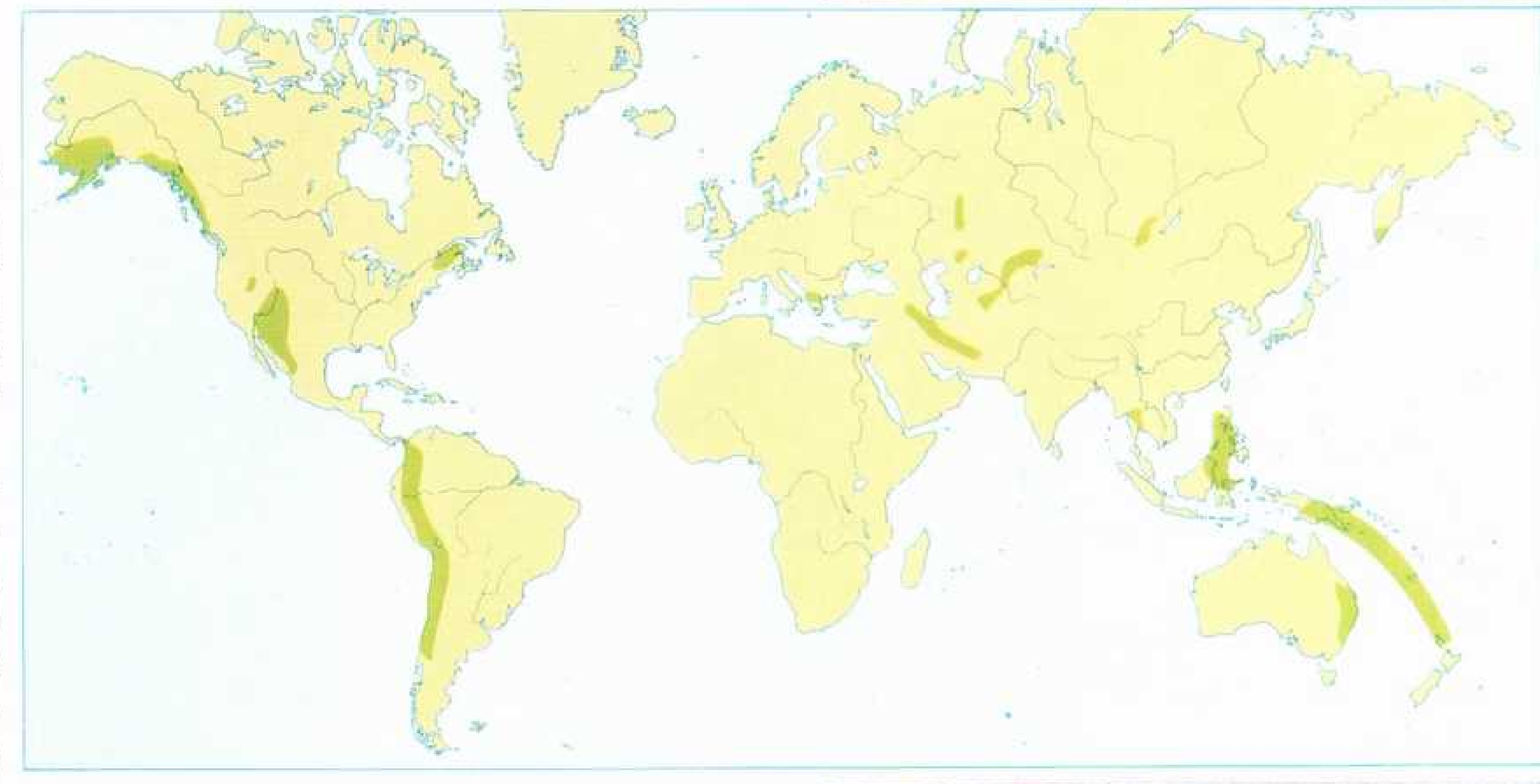
Los efectos de la explotación. *La explotación de las tierras bajas consiste para los hombres, esencialmente, en transformarlas en tierras agrícolas o «sanearlas» haciéndolas lugares edificables (particularmente para las necesidades inmediatas del turismo). Sin embargo, estas acciones son perjudiciales para el entorno. Las zonas bajas y pantanosas albergan en condiciones naturales una fauna y una flora muy ricas. Las fotografías de esta página muestran universos domesticados por el hombre, pero casi totalmente estériles. Al lado: las enormes esclusas de Ijssel, en Holanda, y debajo de estas líneas: dos aspectos de la construcción del dique del pólder meridional de Flevoland.*






Los
yacimientos
submarinos

Los minerales de los abismos





LAS llanuras abisales constituyen una división físico-geográfica esencial. Hace más de un siglo que se conoce la presencia de estos recursos, pero es tan sólo en la actualidad cuando aparece la importancia estratégica de estos yacimientos.

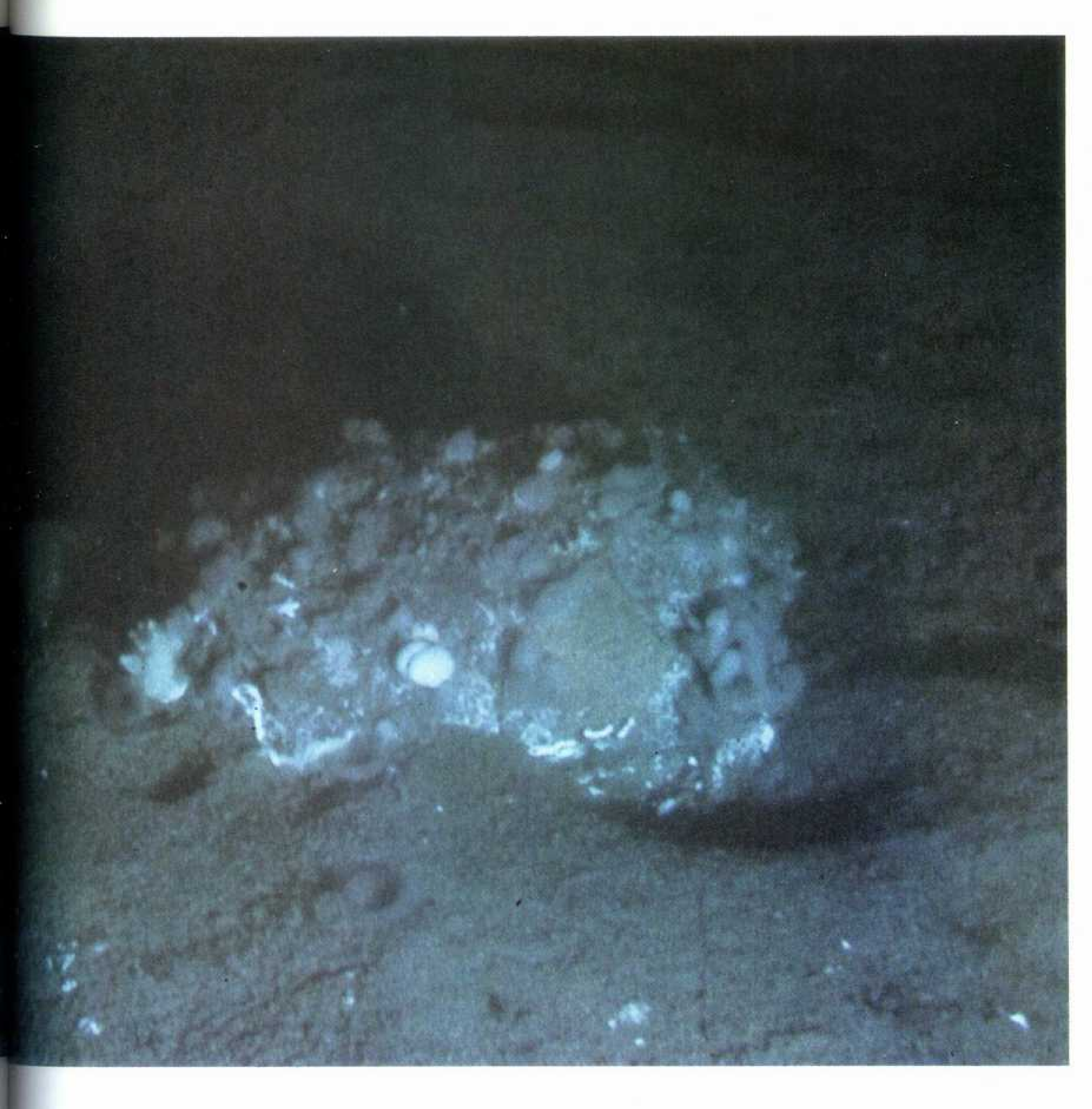
En la totalidad de las profundidades marinas parece que se desarrollan efectivamente procesos de acumulación de minerales. Estas mineralizaciones se realizan a un ritmo muy lento, y son mal conocidas. En unos pocos lugares, sin embargo, las acumulaciones son más rápidas; se trata de las regiones de manantiales hipersalados calientes. En estas zonas cercanas a las grandes fracturas del fondo del océano, de importante actividad tectónica, las aguas que surgen de las entrañas de la tierra son ricas en minerales de todas clases. Estos manantiales hidrotermales calientes son tal vez el origen de los minerales de las regiones profundas del océano, en especial de los nódulos polimetálicos, pero es una hipótesis que aún nada confirma de forma segura.

Aunque puede parecer sorprendente, algunos yacimientos minerales propios de tierra firme continúan en el zócalo por debajo del mar. Las investigaciones geofísicas que han llevado a la formulación de la teoría de la tectónica de placas permiten pensar que existe un verdadero ciclo de constitución de los minerales, cuyo teatro es, bien la tierra firme, bien los fondos oceánicos. Por ejemplo, los yacimientos de porfirio de cobre que encontramos en los márgenes continentales no constituyen más que una etapa en el gran ciclo del cobre, que empieza en las dorsales medio-oceánicas. Estas actúan como verdaderas refinerías naturales realizando, en el transcurso de las erupciones volcánicas submarinas, una especie de «destilación geológica». Cerca de las fisuras de la corteza terrestre, en los abismos y en las fuentes hidrotermales calientes cercanas a los centros expansivos de los fondos marinos, asistimos a un verdadero tratamiento químico de los más diversos metales, que pasa por varios estadios (oxidación, solución, etc.) antes de depositarse en los flancos de las dorsales. La expansión de los fondos provocada por la subida del magma en las fisuras de estas dorsales tiene como consecuencia la de expulsar a los yacimientos cada vez más lejos de las costas. Si la placa tectónica a la que pertenecen estos yacimientos se eleva por encima de otra placa formando de ese modo una cadena montañosa, los minerales emergen; así aparecieron los yacimientos de cobre de Bolivia durante la constitución de los Andes. Si, por el contrario, los yacimientos pertenecen a una placa tectónica que se está hundiendo, padecen también el proceso de subducción. Cuando llegan a 30 ó 50 kilómetros de profundidad son englobados nuevamente por el magma en fusión de la astenosfera. Ocurre a veces que este magma sube hacia la superficie en forma de una especie de gran burbuja. Esta seta de material en estado de fusión es llamada batolito. Los metales como el cobre se concentran en ella, en especial en la superficie. Cuando el magma se enfría abandona en el suelo oceánico, o muy cerca de él, un yacimiento muy rico de estos metales.

Los continentes cubren menos del tercio de la superficie de la Tierra; alrededor de un tercio si se cuentan las plataformas



Los metales de las dorsales. *El agua del océano penetra en las fisuras de la corteza basáltica y produce una lixiviación de las rocas (a la izquierda). Se enriquece de metales e impregna las capas de terreno que son empujadas hacia las grandes fosas. El agua oceánica remonta allí y se libera de sus sales metalíferas. Estas precipitan a menudo en forma de sulfatos y dan lugar a yacimientos minerales muy abundantes.*



continentales que estén unidas a ellos. Están formados por rocas menos densas que las basálticas que constituyen el suelo del océano. Las grandes llanuras abisales se extienden entre los 3.000 y los 6.000 metros de profundidad, con una media de 3.800 metros. Cubren por sí solas un 41 por 100 de la superficie del globo: aquí radica su importancia. Empiezan al pie del talud continental y se extienden monótonamente sobre millones de kilómetros cuadrados. Están cubiertas de sedimentos de diversos orígenes (terrígenos o biógenos). Se encuentran cortadas por fisuras más o menos profundas (las fosas oceánicas, que son zonas de subducción, áreas donde una placa tectónica se hunde bajo otra).

Son interrumpidas igualmente por cadenas montañosas de origen volcánico —las dorsales medio-oceánicas— por donde sube el magma llegado de las profundidades del manto de la Tierra.

Lo que sabemos interesa no sólo a los geofísicos, que están encantados por el rápido progreso de su ciencia, sino también a los economistas y a los ingenieros de minas, que se preocupan por descubrir nuevos recursos explotables por las industrias de la humanidad.

agua superficial rica en oxígeno

lodos negros con piritas y sedimentos muy finos

cemento detritos calizos muy finos

chamosita, siderita y detritos muy finos

facies arcilloso férrica

cemento de limonitas y de detritos finos

cemento de limonitas, de detritos gruesos y de conchas calizas

El hierro y el cobre. *El esquema de arriba resume el ciclo del hierro en el medio marino: en los depósitos de este tipo podemos encontrar cuatro clases de minerales de hierro: la limonita, la siderita, la chamosita y la pirita. Gracias a una serie de complejos procesos físico-químicos, el hierro puede disolverse o precipitarse alternativamente, en función de las condiciones del medio y de la velocidad de las corrientes. Una parte de este hierro acaba por depositarse sobre el sedimento en forma de oolitos limoníticos. Estos pueden contener también en algunos casos magnetita (en forma cristalizada o amorfa), ilmenita, rutilo u otros minerales. Los pequeños círculos muestran la estructura de los minerales y de los detritos sedimentarios. En esta página, arriba, un oolito férrico sobre el sedimento. En el mapa de la página de la izquierda: en verde, la localización aproximada de los grandes yacimientos de cobre del mundo.*

Los manantiales hipersalados calientes



Se sabe desde hace mucho que algunos depósitos minerales de tierra firme han sido constituidos en tiempos geológicos, cuando los terrenos sobre los que se asientan se hallaban en el fondo del mar; y que estos depósitos tan sólo han podido ser provocados por la acción de manantiales hipersalados calientes. De alguna forma, los geofísicos y los geólogos emitieron la hipótesis de la existencia de los manantiales hipersalados, incluso antes de que fueran detectados realmente en el fondo de los mares.

Varias condiciones han de reunirse para que se produzca un depósito de minerales. Tiene que haber agua caliente susceptible de disolver grandes cantidades de sales metálicas. Se requiere una fuente de calor. Se necesita igualmente que el medio acuático esté, o casi, saturado para que los minerales se depositen. Todas estas condiciones se dan en algunos lugares activos, desde el punto de vista volcánico, situados en la cercanía de las dorsales medio-oceánicas.

El calor necesario al proceso proviene de la presencia inmediata del magma fundido. El agua de mar se filtra en las fisuras del basalto, se calienta al pasar sobre las capas rocosas que cubren las bolsas magmáticas, y sube en manantiales hirvientes. Al pasar por la roca, esta agua se carga de materiales que disuelve. Al contactar con el agua del mar, se enfría y pierde estas moléculas saladas, que se precipitan al fondo.

Los manantiales hipersalados calientes mejor estudiados en la actualidad son los que surgen a unos 2.000 metros de profundidad cerca de las islas Galápagos. Han sido largamente observados por los científicos, que los han visitado a bordo de sumergibles *Alvin*. Alrededor de la salida de estas fuentes sumergidas, los minerales se depositan formando lo que se llama «chimeneas negras». El análisis químico demuestra que en estos depósitos hay fundamentalmente silicatos de hierro y óxidos de manganeso; pero muchos otros compuestos se añaden a éstos.

Los pequeños «cráteres» de los fondos propios de las Galápagos, por los que remontan las aguas calientes, tienen una media de 10 a 25 centímetros de diámetro. Algunos han funcionado durante al menos 300.000 años, pero están «apagados» en la actualidad. Otros, más jóvenes, siguen escupiendo su rico líquido salado. Constituyen la base de un ecosistema único.

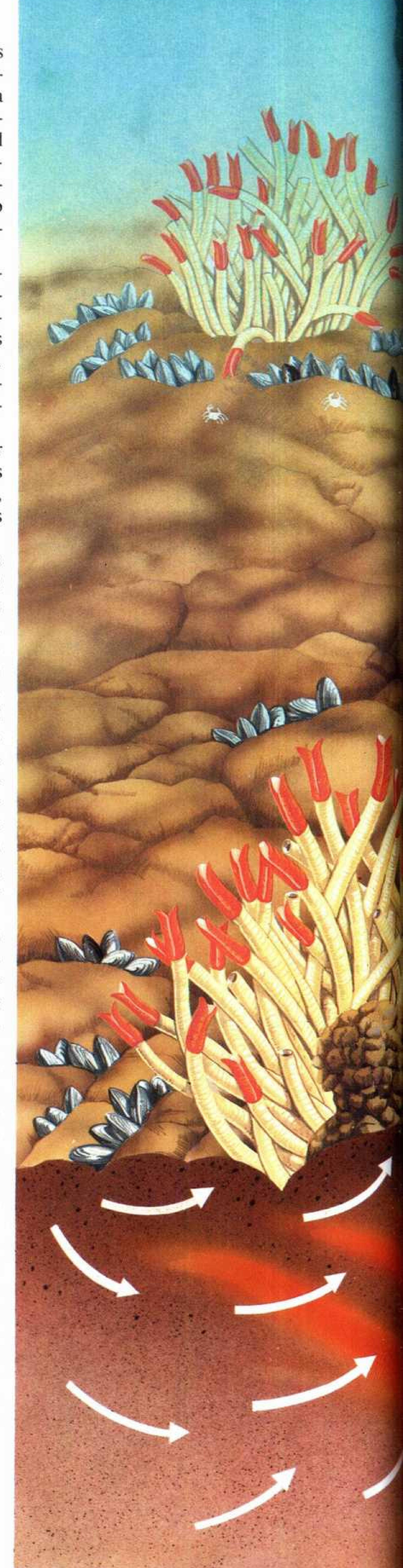
Existen probablemente numerosos depósitos hidrotermales de óxido de manganeso casi puro a lo largo de la dorsal medio-atlántica; parecen muy similares a los descubiertos cerca de las islas Galápagos. Este hecho hace pensar que los manantiales hipersalados calientes existen en diversos lugares del globo.


Se conocen efectivamente otros en el mar Rojo. Los primeros fueron descubiertos por el equipo Cousteau ya en 1952-1953, es decir, durante las primeras campañas del *Calypso*.

Los manantiales hipersalados calientes del mar Rojo tienen por «motor» a las bolsas magmáticas que se encuentran a poca profundidad bajo el suelo marino. Sin embargo, el agua que sirve de vehículo a las sales no es agua de mar, como en las Galápagos: los estudios han demostrado que se trata con mayor probabilidad de agua de infiltración originalmente dulce procedente de los zócalos continentales vecinos. El resultado es el mismo: masas acuáticas hipersaladas surgen del suelo del mar, depositan en las cercanías impresionantes cantidades de compuestos metálicos y dan lugar al mismo tiempo a un medio favorable para una fauna extraordinaria.

Los manantiales hipersalados calientes más activos del mar Rojo son los situados en las fosas llamadas Discovery y Atlantis II. Estas fuentes escupen verdaderas salmueras, ricas en zinc, cobre, plomo, hierro, manganeso, mercurio, oro, plata... Las autoridades de los países vecinos piensan desde hace varios años en empezar a explotarlas. Arabia Saudita reactivó recientemente sus propios proyectos sobre este tema. Los sedimentos locales son de una riqueza tal, que se estima que su inmediata explotación sea perfectamente rentable.

No parece imposible que existan manantiales hipersalados en los océanos en otras regiones distintas a las cercanías de las dorsales medio-oceánicas. Se podrían hallar en especial en la vertical de las zonas de subducción de algunas placas. Las sales escupidas por las fuentes de este tipo serían ricas en oro, plata, plomo y zinc, ya que las rocas sometidas a la lixiviación serían de origen continental.

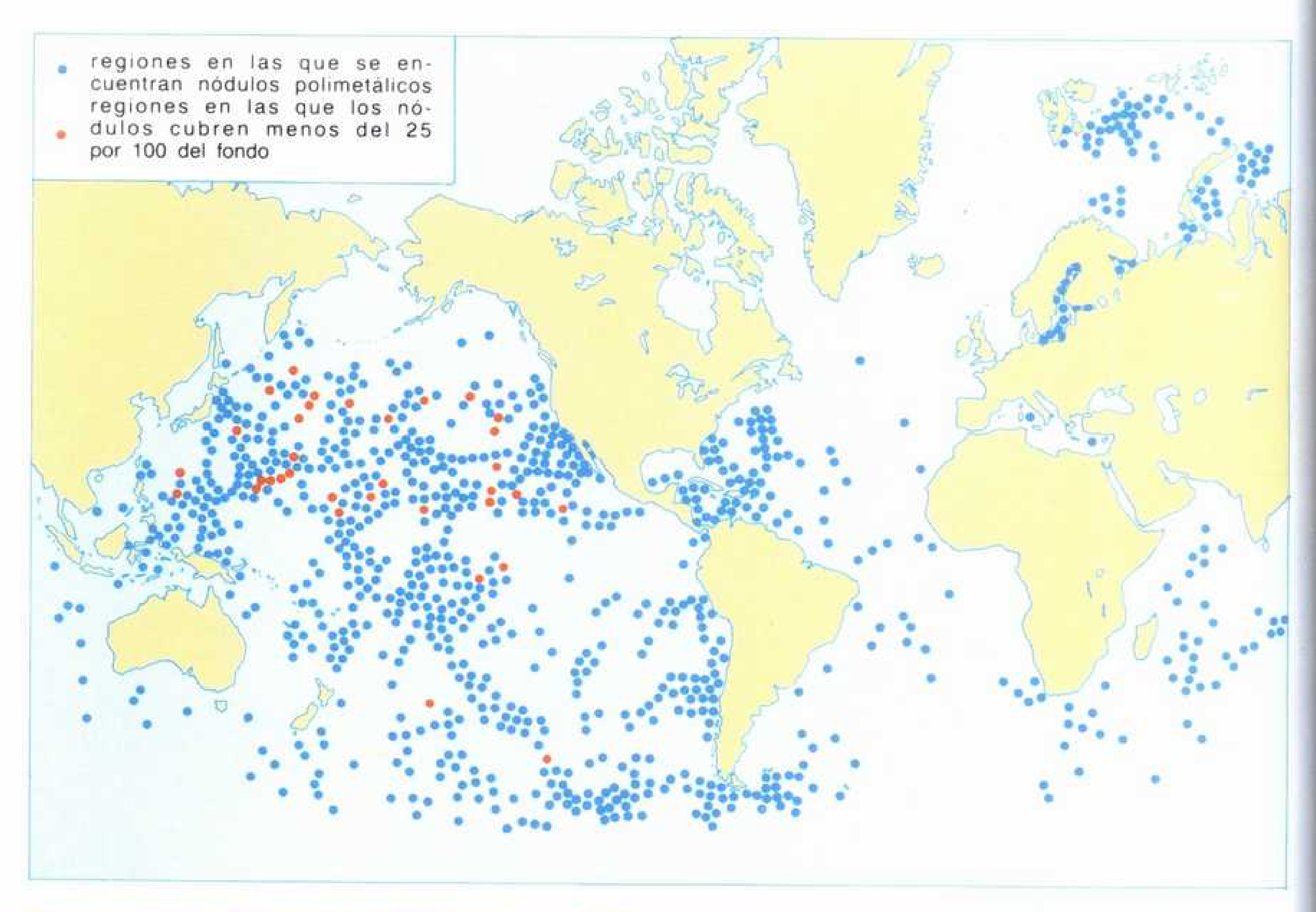


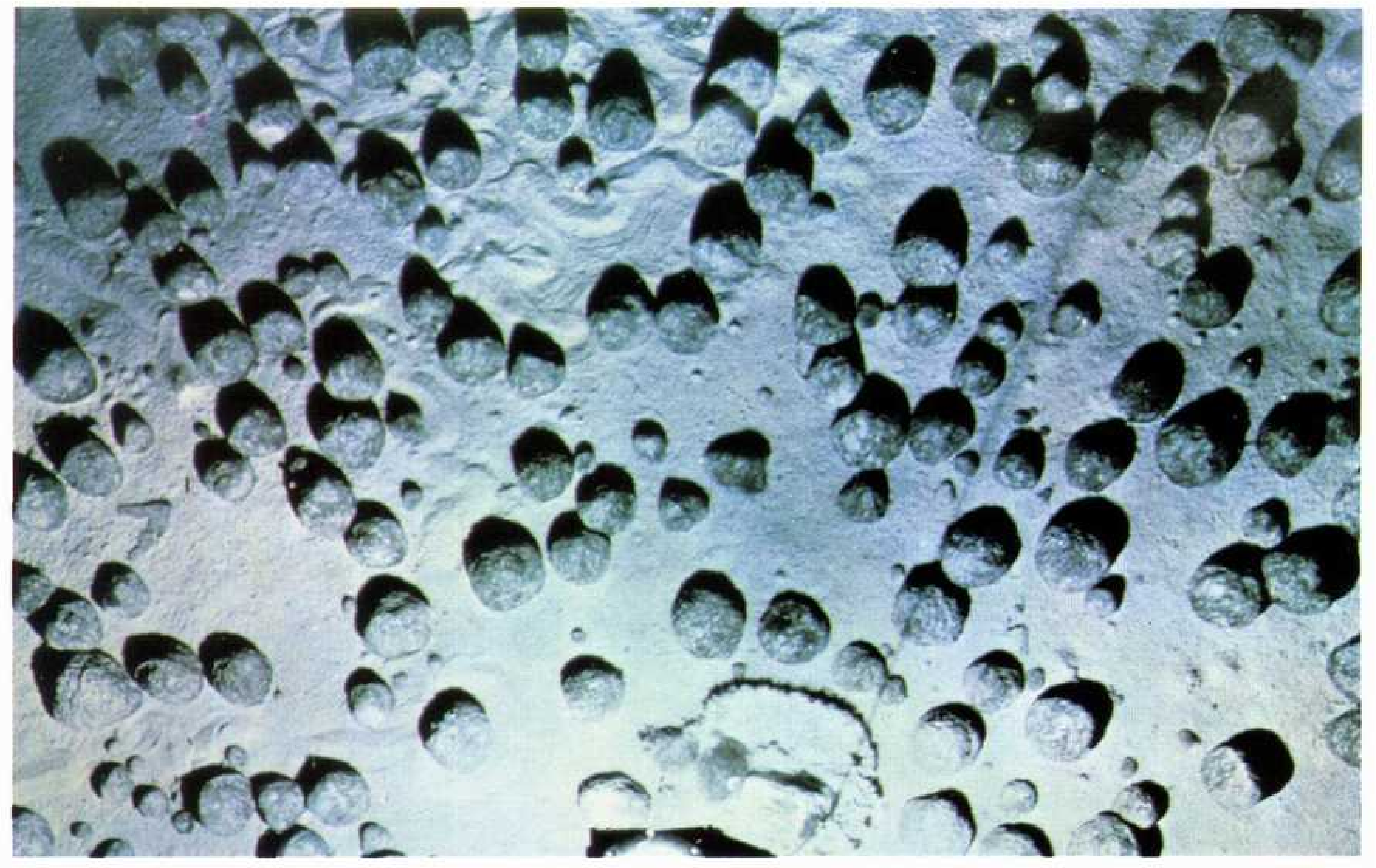


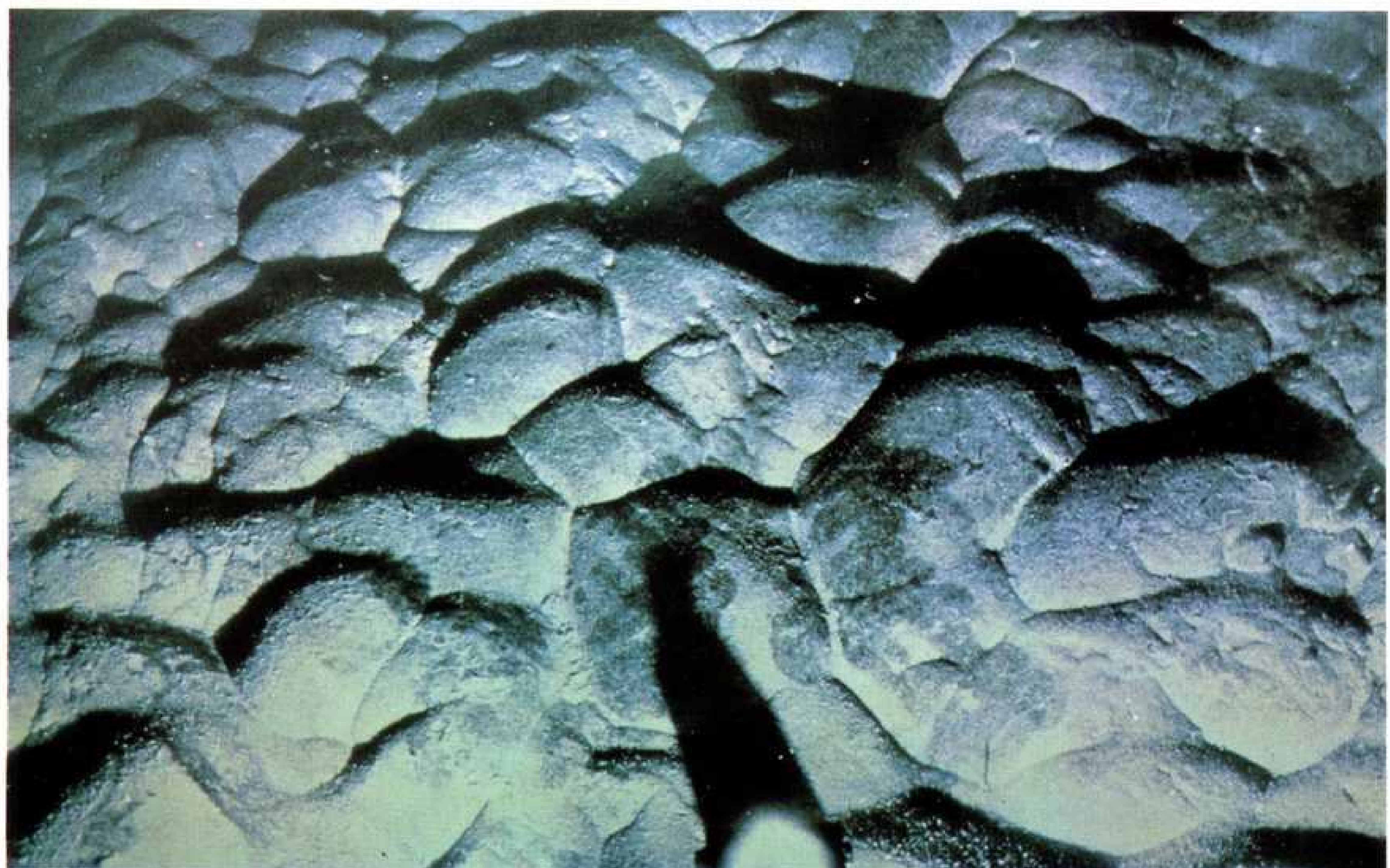
Cerca de las dorsales. *El mapa de la página de la izquierda localiza los manantiales hidrotermales calientes de las Galápagos. El esquema de abajo muestra las «chimeneas negras», que escupen su salmuera a una temperatura que puede alcanzar varios cientos de grados centígrados. El agua del mar se enriquece de sales metálicas al contactar con las rocas magmáticas calientes subyacentes.*

Los nódulos polimetálicos

EXISTEN diferentes nódulos en el fondo del mar, es decir, minerales que se presentan en forma de pequeñas esferas. Nódulos de fosforita se han depositado en especial cerca de las costas del Japón, Argentina, Africa del Sur y las regiones occidentales de América. Estos nódulos contienen generalmente entre el 20 y el 30 por 100 de anhídrido fosfórico, y a veces incluso el 35 por 100. Esferas de este tipo fueron localizadas por primera vez durante la larga expedición del barco oceanográfico *Challenger,* en el siglo pasado, no muy lejos del cabo Agulhas, es decir, al sur del cabo de Buena Esperanza. Se ha visto en la actualidad que abundan a lo largo de todas las costas en las que se producen cambios de temperatura muy regulares y de una gran amplitud, en especial allí donde se enfrentan una corriente cálida y una fría, o allí donde existen ascensiones de aguas profundas frías. Los nódulos de fosforita están constituidos por capas concéntricas de sustancias fosforadas de origen biológico. Se depositan en especial entre 50 y 2.500 metros de profundidad.






Por su parte, los nódulos polimetálicos son llamados a menudo nódulos de manganeso por referencia al metal que contienen en mayor abundancia. Pero también se encuentran otros compuestos. Fueron descubiertos asimismo durante la expedición del *Challenger,* en 1872-1876. Se les dragó por primera vez al sudoeste del archipiélago de las Canarias.

Los nódulos más abundantes se concentran en los fondos de las llanuras abisales, entre 4.000 y 5.000 metros de profundidad. Por debajo de esta cota se encuentran únicamente arcillas rojas y bolas silíceas. Se hallan igualmente esférulas polimetálicas en las cercanías de algunas dorsales medio-oceánicas, y se tiene a veces la impresión de que algunos campos de nódulos han sido transportados lejos de estas dorsales a consecuencia del proceso de

Los recursos de las llanuras abisales. *El mapa de la parte superior de esta página muestra la distribución de los campos de nódulos polimetálicos (también llamados nódulos de manganeso). El Pacífico es el océano donde más abundan. Las fotografías muestran, arriba, un campo de nódulos medianamente rico y, abajo, una costa oceánica basáltica desnuda. El esquema de la página de la derecha deja ver uno de los sistemas de recogida de los nódulos. La explotación de los campos de nódulos plantea problemas esenciales de Derecho marítimo.*



expansión de los propios fondos marinos. Se estima que los nódulos polimetálicos cubren tal vez una superficie total de 25 millones de kilómetros cuadrados, con una concentración media de 10 a 40 kilogramos por metro cuadrado. ¡Esto representa una masa colosal de minerales! En algunas zonas, la tasa de recubrimiento del suelo marino por las esférulas no es más que de un 25 a un 50 por 100, pero en otras áreas sobrepasa el 90 por 100. Las dimensiones de los nódulos polimetálicos varían desde unos pocos milímetros hasta varios metros de diámetro, aunque la mayoría tiene unos centímetros. Se parecen a patatas. Algunos tienen la superficie muy pulida, mientras que otros son sólo parcialmente lisos, y poseen una mitad inferior muy arrugada. Estas diferencias de aspecto hacen pensar que todos los nódulos no se forman de la misma manera.

En general, cuando se realiza un corte se descubre un pequeño núcleo central, que puede ser un grano de arena, un diente de pez, un trozo de hueso, una concha de foraminífero, un fragmento de roca volcánica, etc. El nódulo se forma por agregación de capas sucesivas de compuestos metálicos alrededor de este núcleo. Pero las modalidades de este proceso siguen siendo desconocidas.

Como ya hemos dicho, los nódulos polimetálicos contienen manganeso, y casi la misma cantidad de hierro. También se encuentran metales como níquel, cobre, cobalto, bario, molibdeno, plomo... Todos estos metales se presentan tanto en fases cristalinas como amorfas. La estructura de los nódulos es porosa, y contienen agua más o menos cargada de sales. Los minerales más abundantes son los óxidos de manganeso (como los todorikites, las birresitas, las vernaditas, etc.), así como los óxidos y los hidróxidos de hierro. Los todorokites, en los que se observa una relación alta de manganeso/hierro, se forman preferentemente en las cuencas más profundas.

Hay notables variaciones en la composición de los nódulos, no sólo de una cuenca oceánica a otra, sino en el interior de una misma zona. Las variaciones de este tipo han sido imputadas en el Pacífico a la mayor o menor cercanía de los manantiales hipersalados calientes, de volcanes sumergidos o de lugares de alta productividad biológica. Como ya hemos dicho, el modo de formación de los nódulos es actualmente un misterio. Se piensa sencillamente que la intervención de los seres vivos (bacterias, etc.) es sin duda indispensable para algunos metales o sales metálicas. La sedimentación muy lenta que ocurre alrededor del núcleo y que conduce a la formación del nódulo polimetálico requiere siglos y siglos: se estima que el ritmo de crecimiento es de 0,1 milímetros por milenio. Puede parecer extremadamente lento, pero las masas totales movilizadas son enormes: se calcula que tan sólo en el océano Pacífico se forman anualmente seis millones de toneladas de materiales nodulares.



La recogida de los nódulos polimetálicos está en el orden del día. Las técnicas de dragado se encuentran a punto. Han sido probadas no sólo por Estados Unidos, sino también por Francia, la República Federal Alemana, Bélgica, etc. Por supuesto, una fuente de minerales como ésta —algunos de ellos se consideran estratégicos— no deja indiferentes a los gobiernos. Sin embargo, su explotación corre el riesgo de privar de sus únicos recursos a algunos países del Tercer Mundo. Fuera de cualquier tipo de consideración económica, aquí se presenta un problema ético y político. Algunos países piensan, siguiendo a Estados Unidos, que estas riquezas, situadas fuera de las aguas territoriales, pertenecen a los primeros que consigan apoderarse de ellas. Por el contrario, las Naciones Unidas esperan que los recursos situados en alta mar, y en especial los nódulos polimetálicos, se consideren un bien común de la humanidad.

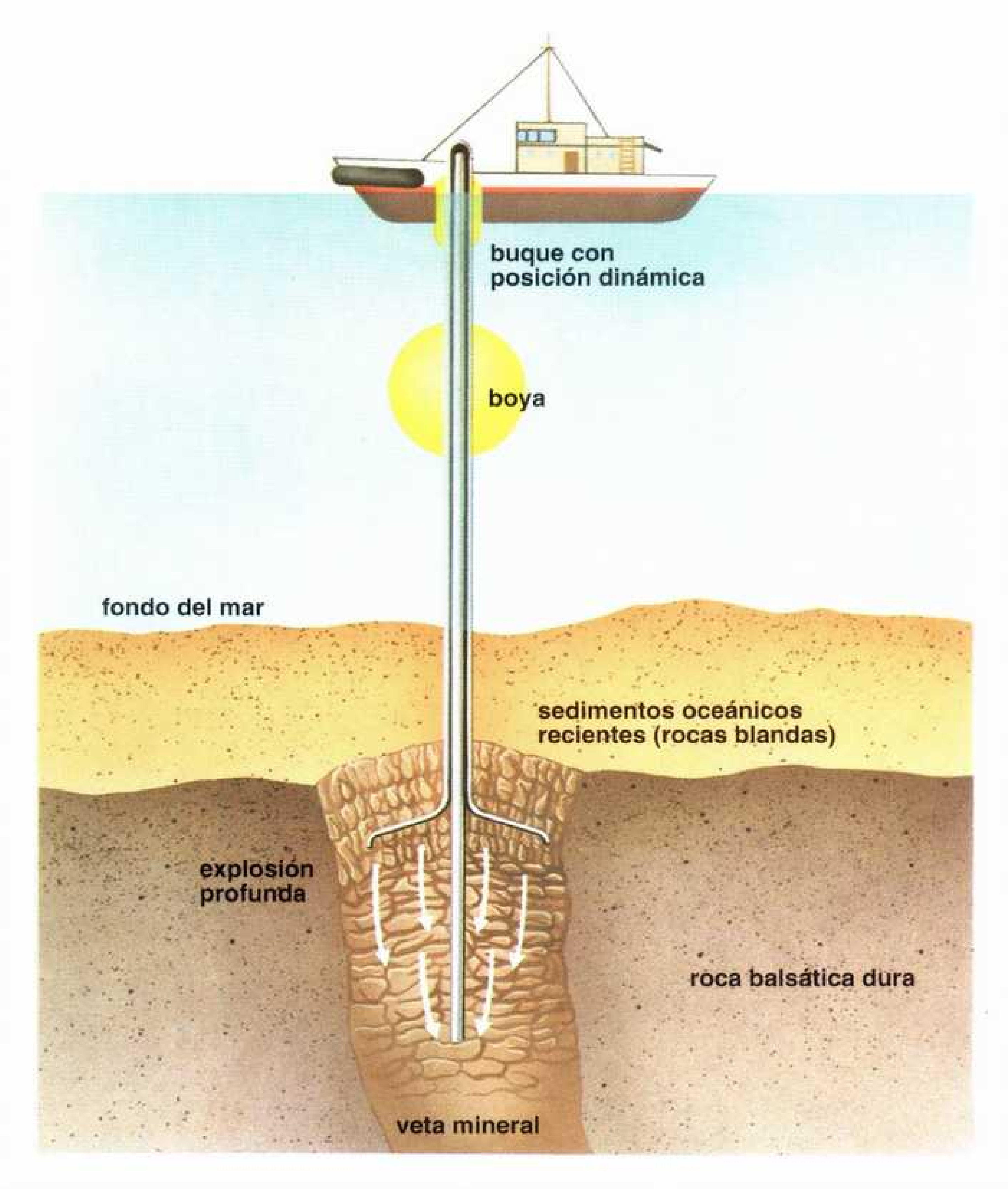


El estudio de los nódulos. *Página de la izquierda: operación de descarga de nódulos polimetálicos recogidos en el fondo del Pacífico. En esta página, arriba: algunos nódulos en bruto. Los cortes de arriba y los de al lado demuestran que estas «patatas» del fondo del mar se podrían comparar también, y quizá con más propiedad, a... ¡cebollas con sus mil capas!*

Los depósitos de azufre

SE han descubierto recientemente importantes depósitos de azufre en el Pacífico oriental, al sur de la bahía de California. Estos masivos yacimientos hacen pensar que existen en el mar considerables depósitos de sulfuros (de zinc, cobre, hierro) con inclusiones de cobalto, plomo, plata, cadmio..., y que estos minerales podrían constituir uno de los tesoros del océano. Las expediciones submarinas a estas regiones han demostrado que abundantes depósitos de azufre pueden formarse directamente en la superficie del suelo oceánico, y que el azufre en cuestión juega un importante papel en el proceso de formación de un gran número de yacimientos metalíferos.

Los sulfuros estudiados recientemente por el grupo Cyamex están asociados a una intensa actividad hidrotermal: es el caso del Rialzo del Pacífico oriental, donde los manantiales hipersalados calientes escupen sus salmueras a una profundidad de unos 2.600 metros. Los depósitos están asociados a estructuras particulares: se producen en depresiones que miden de 20 a 30 metros de diámetro y de profun-

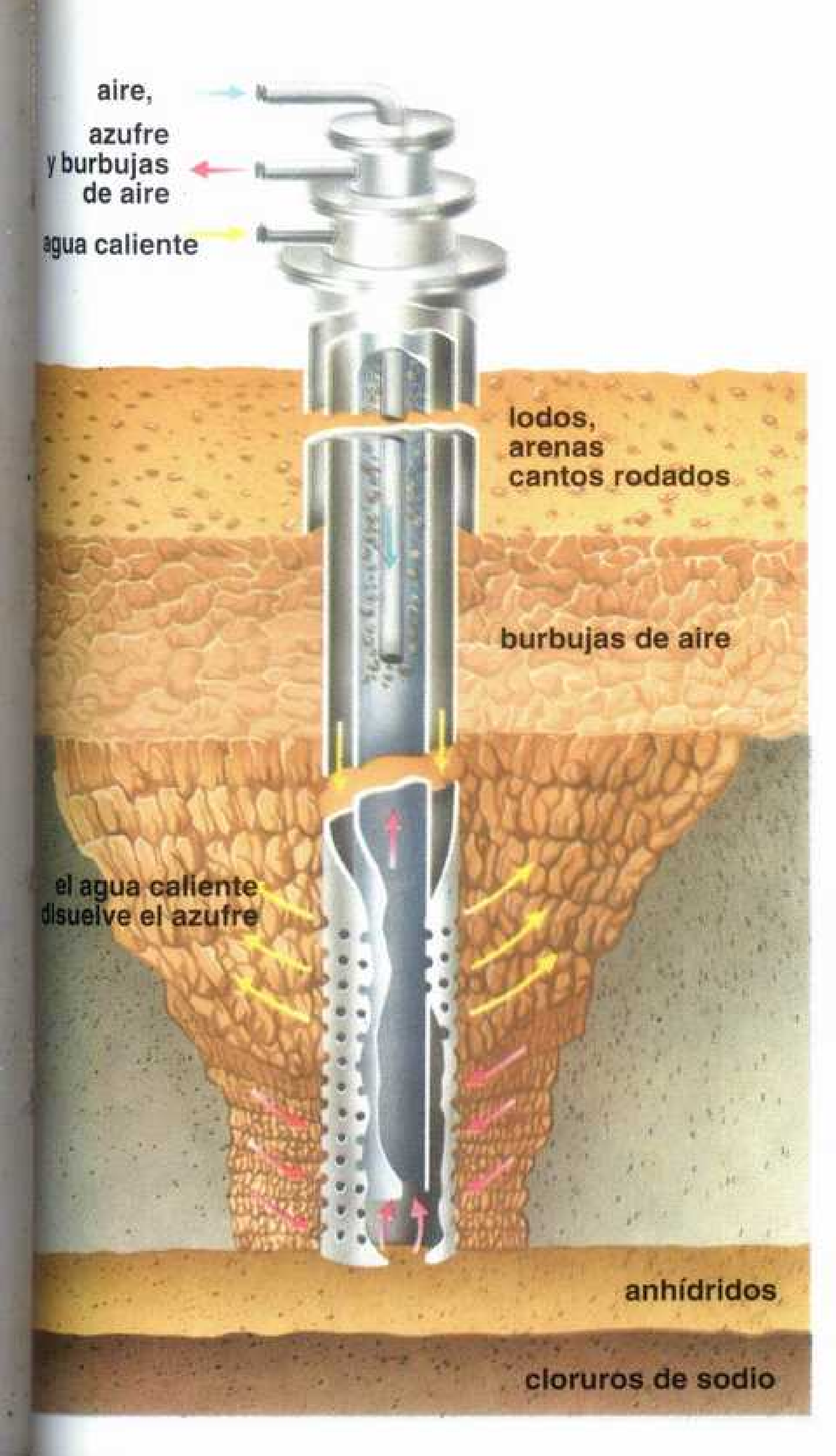


La extracción del azufre. *El esquema de la página de la derecha muestra el procedimiento «Frasch» de extracción del azufre profundo. El método consiste en poner en acción un tubo que comporta cuatro mangueras internas concéntricas. El tubo más extremo manda agua a presión hacia el fondo; esta agua penetra en la roca rica en azufre, disuelve una parte y sube por el segundo tubo. La tubería más central propulsa hacia el fondo aire comprimido. Las burbujas cargadas de minerales suben por la tercera manguera... En el dibujo adjunto, a la izquierda, se ha representado el mismo proceso de explotación «Frasch», con una importante variante: se realiza en las capas profundas una explosión previa.*





Los sulfuros y las lavas en cojinete. *Investigaciones recientes realizadas en la zona de Rialzo, en el Pacífico oriental, han demostrado que los yacimientos de sulfuros están asociados a menudo a depresiones estructurales formadas por lavas en cojinetes* (pillow lava) *que se encuentran a profundidades de unos 2.000 a 3.000 metros. Las lavas en cojinete toman esta forma típica al enfriarse bruscamente al entrar en contacto con el agua. Se encuentran especialmente en la región de las Azores (dorsal medio-atlántica). La fotografía de arriba muestra un cojinete típico de lava, y la de la página de la derecha, un conjunto de cojinetes ya atacados por la corrosión y la erosión. Los depósitos de Rialzo contienen enormes cantidades de sulfuros de hierro, cobre y zinc.*



didad. Tienen el típico aspecto de cojines y se parecen también mucho a las famosas lavas en cojinete que caracterizan a las zonas con actividad volcánica submarina.

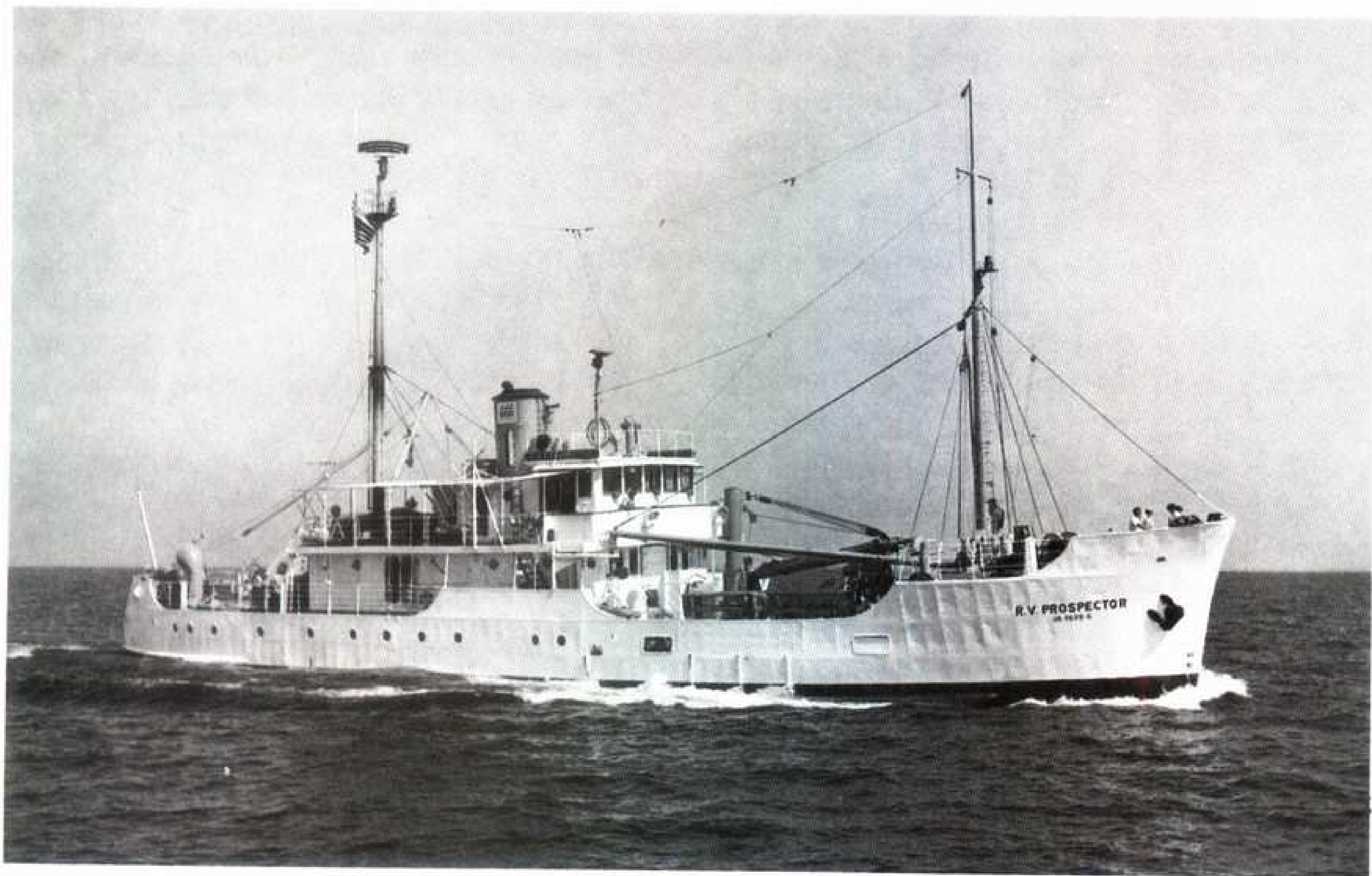
Los conductos y los canales de la masa porosa del suelo oceánico permiten el paso de soluciones metalíferas que suben desde el seno de la corteza terrestre. Estas aberturas fueron primero llamadas hornitos, palabra española que designa a los orificios volcánicos. Se les llama en la actualidad simplemente chimeneas, ya que los fluidos acuosos que se escapan de ellas se asemejan a humos. Existen varios tipos de estas chimeneas: las chimeneas negras acarrean fundamentalmente sulfuros, mientras que las chimeneas blancas expulsan piritas, baritas y compuestos silíceos. Estas chimeneas están separadas entre sí por unos metros; a veces se reúnen y constituyen conos bastante importantes. En algunas regiones, masas de azufre amarillo vivo o naranja dan al fondo del mar un brillante colorido.

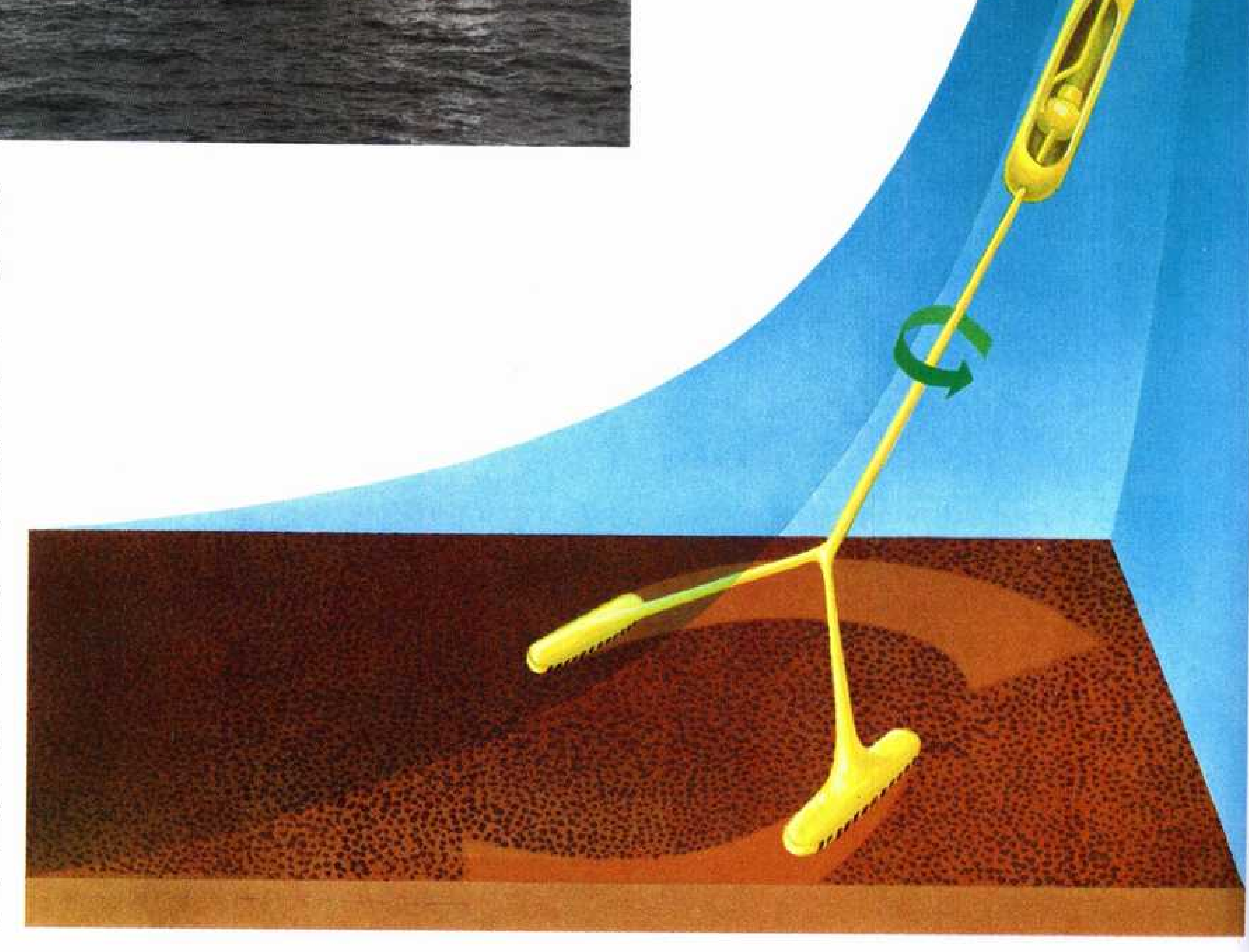
Los sulfuros son esencialmente blendas (sulfuros de plomo) y piritas (sulfuros de hierro), con contenidos más o menos importantes de calcopiritas o de marcasitas. Los depósitos de azufre prácticamente puro proceden de erupciones volcánicas (subidas magmáticas en las zonas de separación de las placas tectónicas), o bien de los manantiales hipersalados calientes. Las lavas en cojinete de las regiones de las dorsales medio-oceánicas van siendo alteradas por los vertidos de los manantiales hipersalados calientes próximos. Estas modificaciones físico-químicas dan lugar a otros minerales a base de sulfuros triférricos, de zinc y de cobre. Se han encontrado compuestos de este tipo no sólo en Rialzo, en el Pacífico oriental, sino también en Troodos, en Chipre. Formaciones del mismo estilo existen en California, Terranova, Turquía, Italia, el emirato de Omán...

Los depósitos de sulfuros no escasean: además de las localizaciones ya citadas, se han encontrado en el mar Rojo, en el mar del Japón, etc. Aún más: se creía que estaban limitados a las regiones jóvenes del océano, pero se observa cada vez más que esto no es exacto. La existencia de depósitos de azufre y de diversos sulfuros en las zonas adyacentes a las dorsales, en grandes cantidades y lejos del eje de éstas, incrementa en gran manera las reservas generales de zinc, hierro, cobre y de otros minerales.



Los métodos de extracción





LA recuperación de los minerales de los fondos marinos profundos es obviamente mucho más difícil que la de los mismos materiales en tierra firme.

Los instrumentos de extracción de los minerales profundos deben soportar condiciones de empleo muy duras: bajo dos o cinco kilómetros de agua, los aparatos concebidos para trabajar al aire libre y a presión atmosférica corren el riesgo de no funcionar.

Además, al ser salada, el agua del mar resulta muy corrosiva. El desgaste de las herramientas es mucho más rápido que en el medio aéreo.

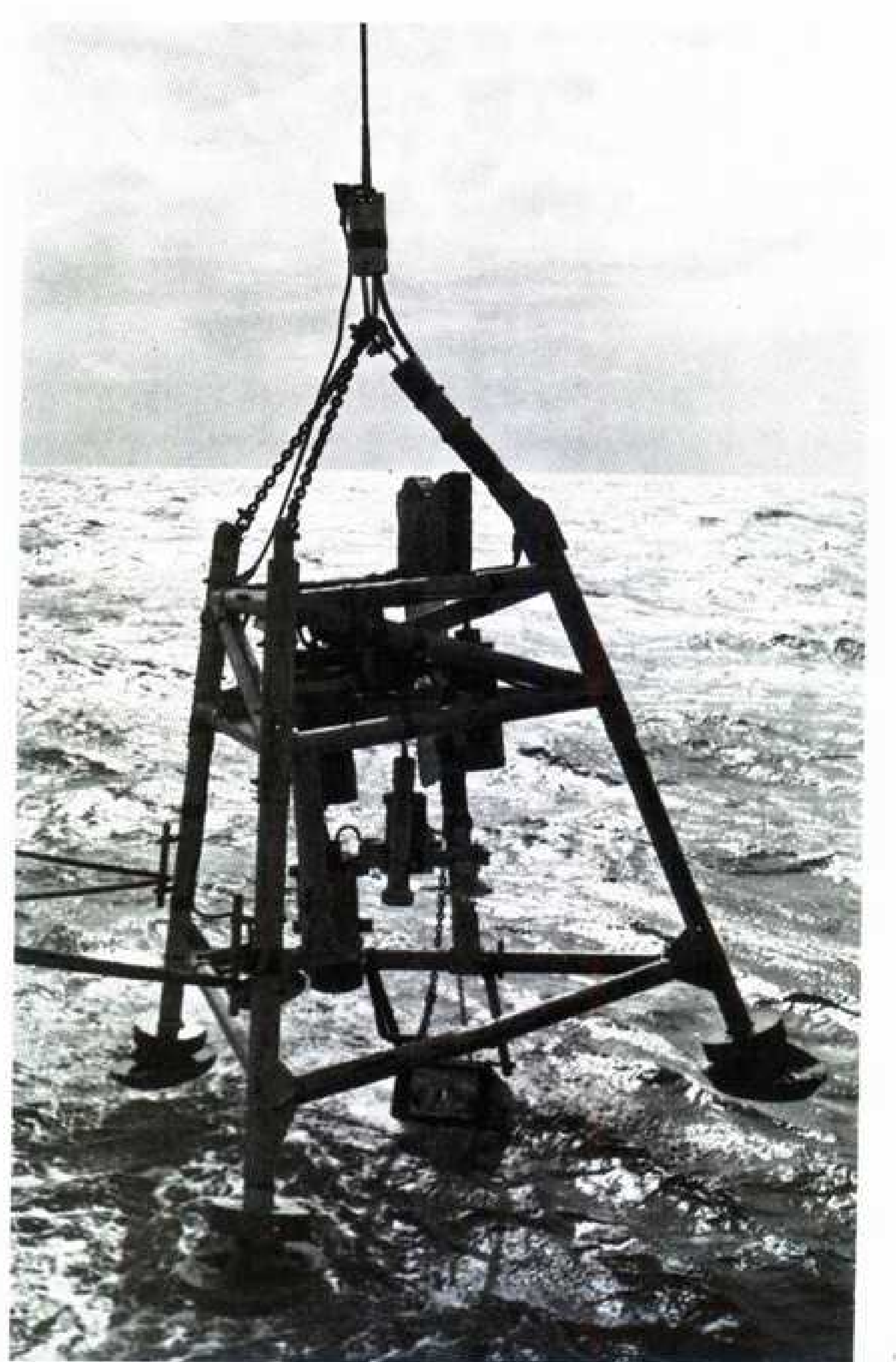
Todos los recursos mineros del suelo del océano no son igualmente interesantes. Los más fácilmente explotables, los más rentables en el estado actual de la tecnología, son los materiales hipersalados metalíferos y los yacimientos de nódulos polimetálicos.

Las salmueras ricamente mineralizadas pueden ser aspiradas mediante bombas: el estado de disolución en el cual se encuentran los metales interesantes facilita en gran medida su recuperación. No resulta difícil después concentrar aún más estas soluciones, precipitar las sales y transportar hasta tierra firme los minerales aislados de esta forma. Existen serios proyectos de explotación de las salmueras en el mar Rojo.

Arabia Saudita, por ejemplo, tiene pensado explotar estos recursos en un futuro cercano.

Los nódulos polimetálicos, al igual que ciertos sedimentos metalíferos que no se presentan en forma de nódulos, pueden ser aspirados gracias a chupadoras gigantes, o dragados de diferentes maneras.

Las técnicas de localización de los yacimientos marinos y las que permiten la recogida de muestras han sido ya perfeccionadas.



Los métodos de extracción. *Varias empresas privadas o públicas americanas, francesas, belgas, etc., se han interesado ya por la recogida de minerales de los grandes fondos marinos, esencialmente de los nódulos polimetálicos. Han enviado barcos a prospectar los yacimientos más ricos (en esta página, arriba, el* R.V. Prospector*). Han sumergido telecámaras para vigilar sus aparatos (a la izquierda). Han izado ya dragas cargadas de minerales y tratado estos últimos para saber cómo pasar luego a la explotación industrial (página de la derecha, arriba: dos instalaciones de tratamiento de los nódulos, y una draga). Las dragas más sofisticadas son las hidráulicas, de las que el dibujo de arriba presenta un ejemplo. Pero la mayoría de las empresas piensan en utilizar dragas más clásicas, como las que figuran en el dibujo de la página siguiente; aparatos de este tipo necesitan obviamente, para ser arrastrados a plena carga, buques de una potencia más que considerable, pero se espera contar con la asistencia de equipos técnicos precisos en breve plazo.*



Desde las campañas del *Glomar-Challenger* americano, se han concebido varios barcos de investigación de posición dinámica, que pueden calcular una situación e inmovilizarse en alta mar con una precisión muy grande, utilizando los servicios de algunos satélites artificiales y de los ordenadores. Las estaciones interesantes pueden ser encontradas nuevamente por estos mismos buques en el transcurso de una pasada ulterior, con un error del orden de los 20 metros.
Entre los dispositivos de recuperación de los minerales sólidos o semisólidos (lodos espesos, etc.), hay que citar esencialmente a las dragas. Funcionan todas por el mismo principio, aunque hay numerosos diseños de instrumentos inventados por los ingenieros. Se trata siempre de recoger los minerales que se encuentran sobre el suelo del océano, paseando un contenedor arrastrado por un cable desde la superficie. Muchas dragas serían de hecho especies de norias, en las cuales los recipientes bajarían hacia el fondo unos tras otros y remontarían cargados de nódulos, a una velocidad de 150 a 250 metros por minuto. Estas dragas presentarían además la ventaja de ser «inteligentes» gracias a las posibilidades de la electrónica y de la robótica, unidas a esos «ojos electrónicos», las cámaras de televisión submarinas.
De igual manera se han puesto a punto, para este mismo tipo de minerales, grandes dragas hidráulicas capaces de operar a 3.500 metros de profundidad. Estas aspiraciones gigantescas poseen un tubo de unos 50 centímetros de diámetro: pueden mantener un flujo de cinco metros cúbicos por segundo y aspirar nódulos de 15 centímetros de diámetro.
Los buques mineros de mañana han sido ya definidos a grandes líneas. Tendrán que ser fundamentalmente resistentes. Su potencia será su principal factor de rentabilidad. A partir de unas 40.000 ó 50.000 toneladas tendrán que disponer, para realizar los dragados, de una potencia de remolque unas diez veces superior a la de los remolcadores actuales. Además de potentes, estos navíos habrán de ser «inteligentes». Como ya hemos recalcado más arriba hablando de las dragas, se contará a bordo con todo el material electrónico e informático necesario.
La explotación de las minas del fondo del mar por dragados provocará seguramente daños. Los más importantes serán, en el mismo momento de la extracción, las inmensas nubes de polvo sedimentario levantadas del substrato. Aumentarán la turbiedad del agua. Disminuirán su transparencia, lo que perturbará la actividad fotosintética del plancton vegetal. El resto de la cadena alimentaria se resentirá de este hecho. Sin embargo, en el caso de los nódulos polimetálicos, este inconveniente no será demasiado grave, debido a la propia localización de los yacimientos: están situados en el piso de las llanuras abisales y corresponden a ecosistemas oceánicos pobres.
Mucho más peligrosas serán las contaminaciones engendradas por el tratamiento de los minerales en alta mar. La mayoría de las empresas tienen pensado realizar tratamientos de este tipo. Esto querrá decir que se tirarán al mar ácidos, metales pesados, bajo diversas formas (en especial orgánicas), etc. Como estas unidades de primera transformación estarán alejadas de las costas, los controles de los vertidos serán imposibles. Habrá que temer que los empresarios hicieran entonces lo que les viniese en gana. Mejor sería para el ambiente prohibir cualquier tratamiento de minerales en el mar, y obligar a los industriales a repatriar a tierra firme sus minerales antes de pasar a los estadios posteriores de la transformación.

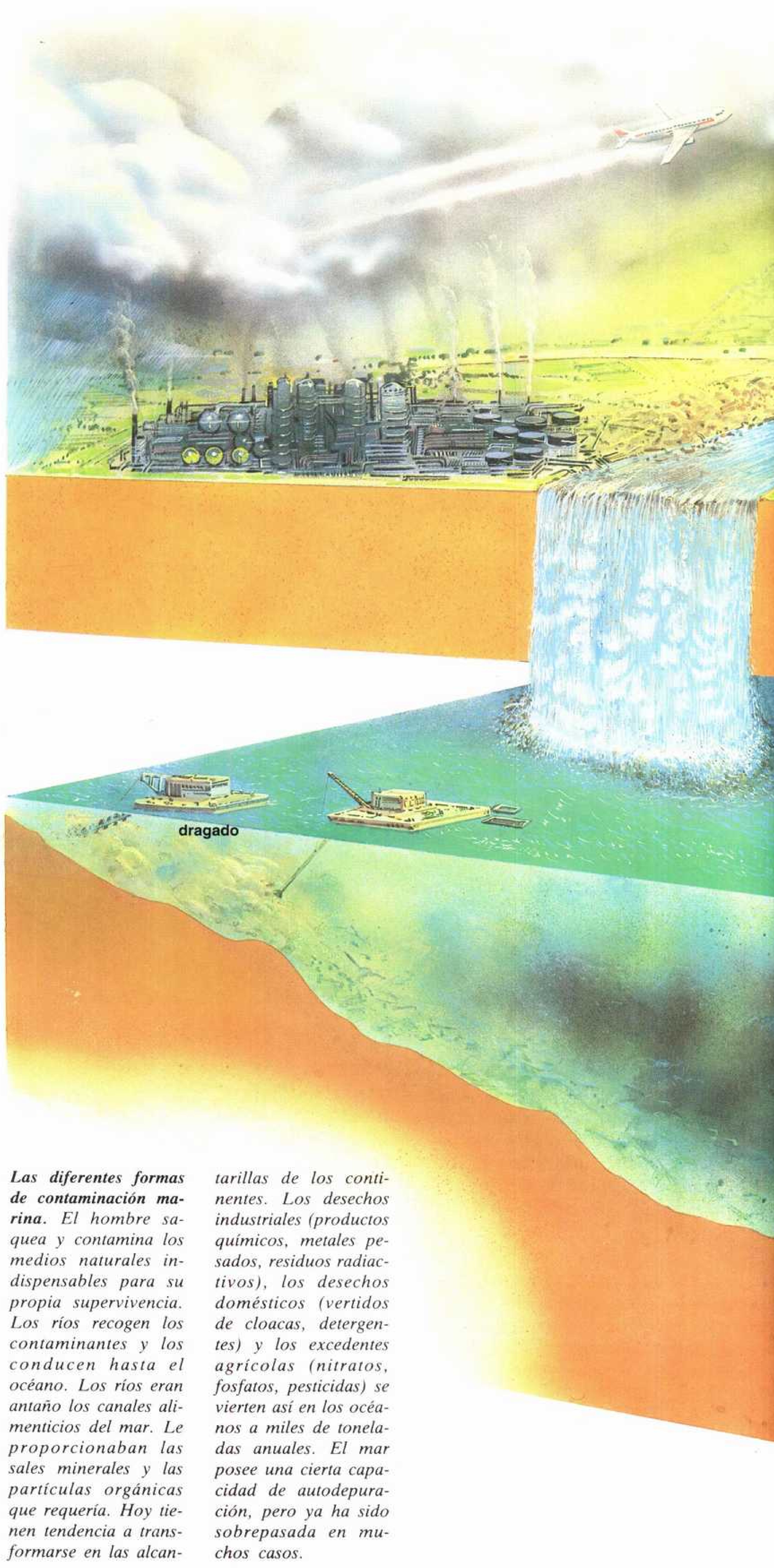
La inmersión de los desechos

Desde hace unos años, unos cuantos países se han acostumbrado a desprenderse de sus desechos domésticos o industriales en el mar. Escogen para ello los cañones submarinos que llevan a alta mar, o fosas lo suficientemente profundas. Los técnicos que pusieron a punto este método parten de la hipótesis de que los desechos en cuestión son eliminados así, al menos durante muchos años, y que no volverán a introducirse en el ecosistema del que depende el hombre antes de haber sido neutralizados por el mar. Es una apuesta que no descansa sobre serias investigaciones previas.

La inmersión de desechos parece ventajosa, ya que se encuentran en principio aislados a grandes profundidades, en regiones del océano donde (teóricamente) las corrientes son muy débiles, los seres vivos muy escasos, y donde la masa de agua circundante es de tal magnitud, que la consecuencia de la dilución de las sustancias eventualmente tóxicas debería bastar para hacerlos soportables.

Los desechos no son vertidos generalmente tal cual (aunque a veces ocurra, como en el caso de los yesos fosfóricos o de otros subproductos molestos relativamente poco tóxicos). Se utilizan casi siempre contenedores de metal, y a veces, para los productos más activos, bidones de metal incluidos en cemento. Este tipo de protección es ilusoria. Los mejores materiales no resisten mucho tiempo la corrosión, y las sustancias de las que queríamos librarnos se vuelven a hallar después de un período de tiempo variable, aunque siempre más corto de lo previsto, en contacto con el medio acuático. Las inmersiones realizadas en platillo por el equipo del *Calypso*, y otras efectuadas por sumergibles como el *Alvin*, han demostrado siempre que allí donde se habían arrojado contenedores esperando que duraran mucho, estaban de hecho ya agujereados después de unos pocos años. Se ha subestimado igualmente la actividad de los animales del fondo del mar. Las criaturas de los abismos son escasas, pero existen, y se encargan generalmente de transportar muy lejos en el mar, y mucho más rápidamente de lo estimado, los contaminantes de los que pensábamos habernos librado. En estas condiciones, las cadenas alimentarias no tardan en funcionar, y las sustancias tóxicas se reconcentran a medida que progresamos en la pirámide de los devorados y los devoradores.

Los residuos radiactivos se cuentan entre los más peligrosos a largo plazo. Se acumulan preferentemente en los tejidos de algunos organismos. El mar ya ha recibido importantes cantidades de estos vertidos y, a pesar de las protestas de las asociaciones ecologistas, algunos países si-



Las diferentes formas de contaminación marina. *El hombre saquea y contamina los medios naturales indispensables para su propia supervivencia. Los ríos recogen los contaminantes y los conducen hasta el océano. Los ríos eran antaño los canales alimenticios del mar. Le proporcionaban las sales minerales y las partículas orgánicas que requería. Hoy tienen tendencia a transformarse en las alcantarillas de los continentes. Los desechos industriales (productos químicos, metales pesados, residuos radiactivos), los desechos domésticos (vertidos de cloacas, detergentes) y los excedentes agrícolas (nitratos, fosfatos, pesticidas) se vierten así en los océanos a miles de toneladas anuales. El mar posee una cierta capacidad de autodepuración, pero ya ha sido sobrepasada en muchos casos.*

central
termoeléctrica

smog

ciudad

fábricas

plataforma
petrolífera

petróleo

vertidos
al mar

depósitos
de materiales

turbidez del agua

guen realizándolos. El peligro es evidente: se ha visto, por ejemplo, que el plutonio —muy tóxico— se concentra preferentemente en las algas. De igual forma, el iodo 131 se fija en los vegetales marinos. El estronio 90, que se parece al calcio en cuanto a propiedades químicas, lo sustituye en los huevos de los peces, las conchas de los moluscos y los caparazones de los crustáceos.

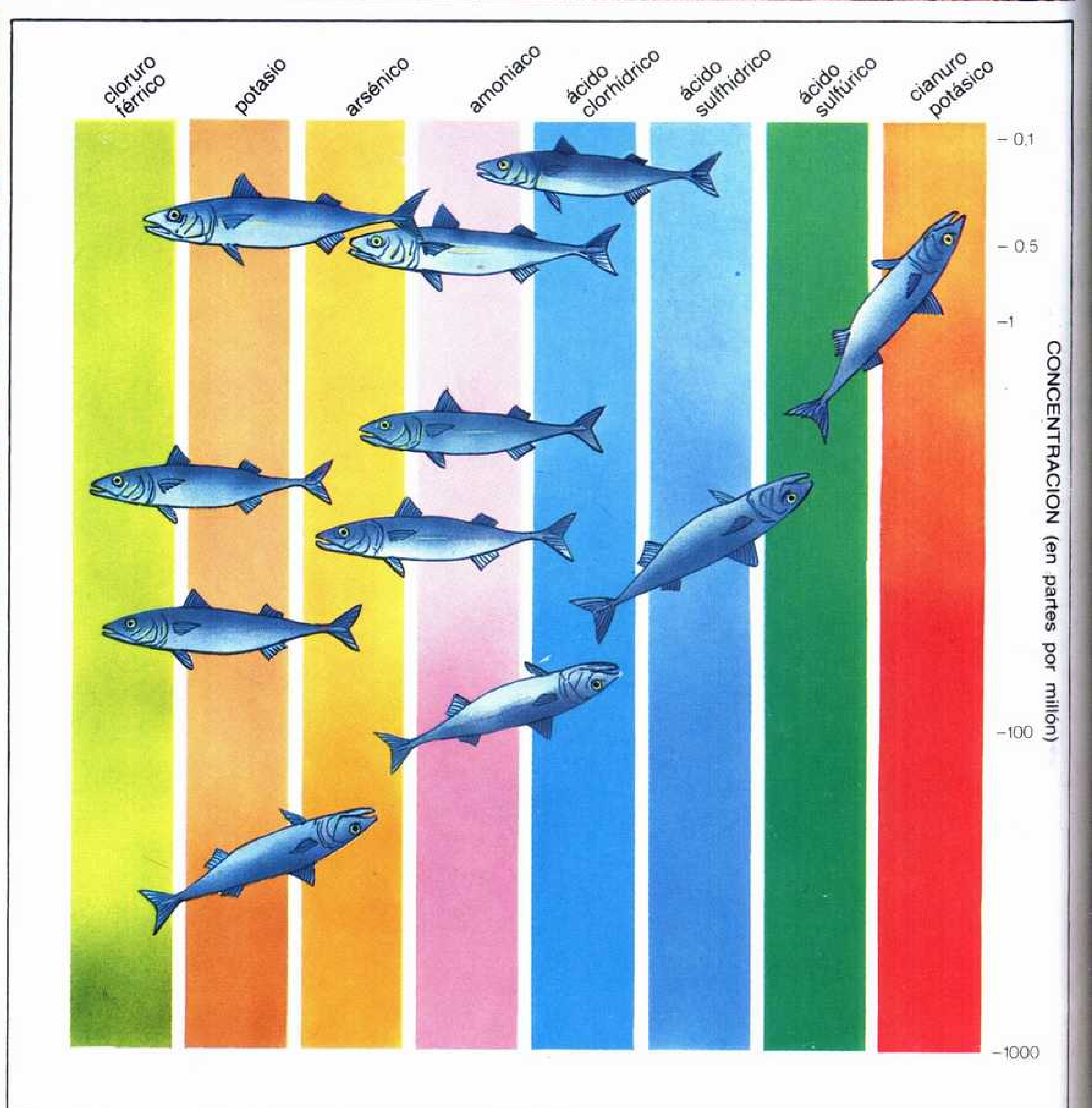
Algunos responsables han imaginado que se podrían verter sin problema los residuos radiactivos (o los residuos químicos muy tóxicos) en las grandes fosas oceánicas. Se han basado para hacer esta proposición en los postulados de la tectónica de placas. Han dicho que las fosas son zonas de subducción, regiones en las que el zócalo basáltico del océano se hunde hacia el corazón de la Tierra. Nada impide, por lo tanto, depositar en ellas contenedores de productos peligrosos: las grandes fuerzas de la Tierra los tragarán para siempre, y serán definitivamente neutralizados.

Es ir demasiado rápido. Los contenedores en cuestión son atacados en realidad muy rápidamente por el agua de mar. Su esperanza de vida es del orden de años, mientras que la velocidad de hundimiento de las rocas del suelo oceánico se calcula por siglos o milenios. Se trata sencillamente de diferentes escalas de tiempo. Los contenedores habrán sido destruidos antes de haber empezado su migración hacia el centro de la Tierra. Las corrientes del fondo, aun siendo muy débiles, existen en las fosas oceánicas; de igual forma, la vida no está ausente en ellas. Al final, los productos peligrosos volverán un día u otro a depositarse en la biosfera.






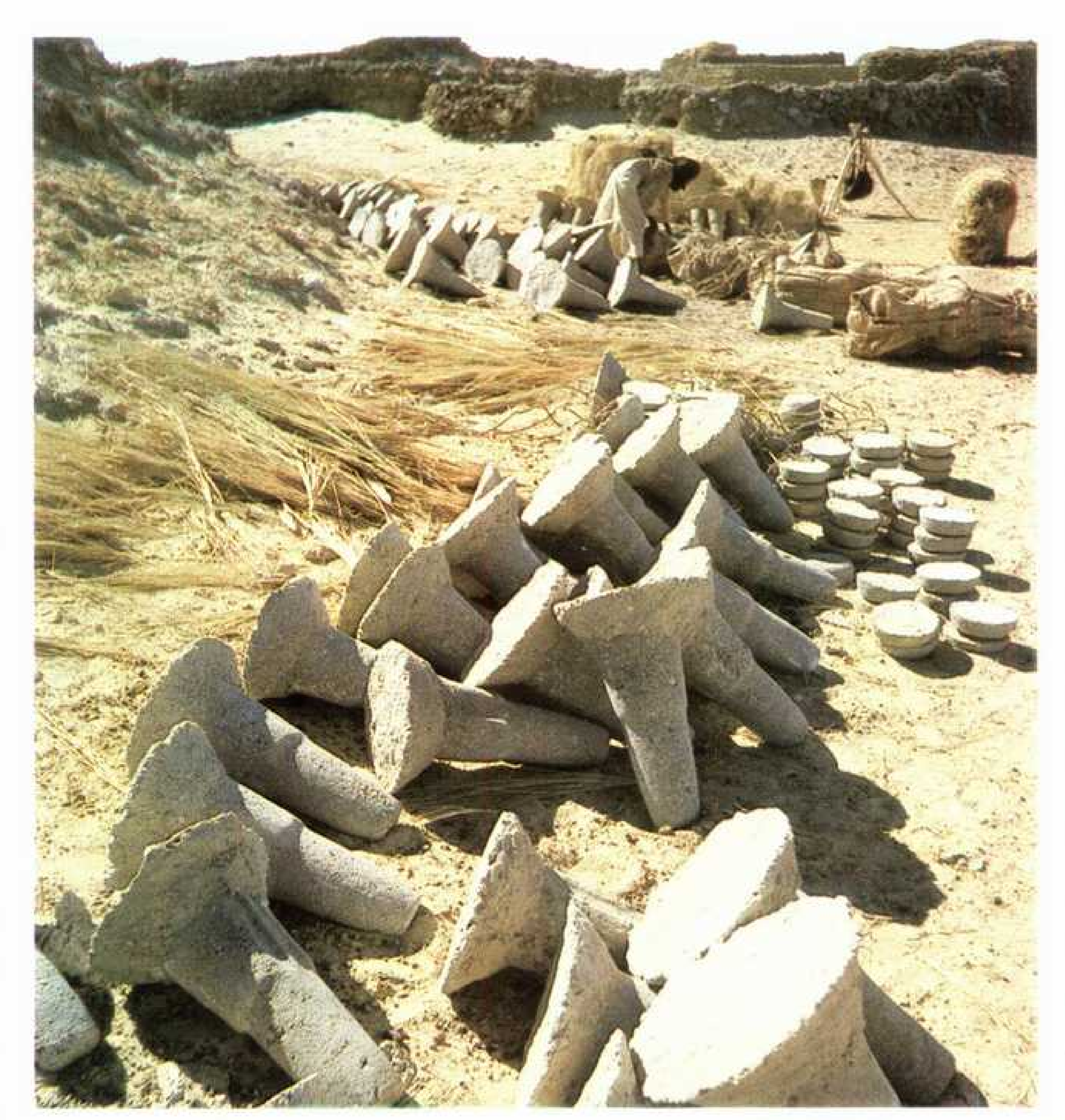


Los vertidos industriales. *Las actividades industriales se cuentan entre las más contaminantes. Arriba: vertido de lodos rojos, producidos por minas de bauxita, en Cerdeña. Fotografías de arriba del todo: contaminación del litoral por los vertidos de la industria del hierro, en la isla de Elba. El esquema de la derecha da una idea de la escala de toxicidad de algunos contaminantes industriales, de los más vertidos al medio natural, y en especial al mar. El límite a partir del cual estas sustancias son mortales para los peces está representado por la línea de los peces muertos (con el vientre hacia arriba).*

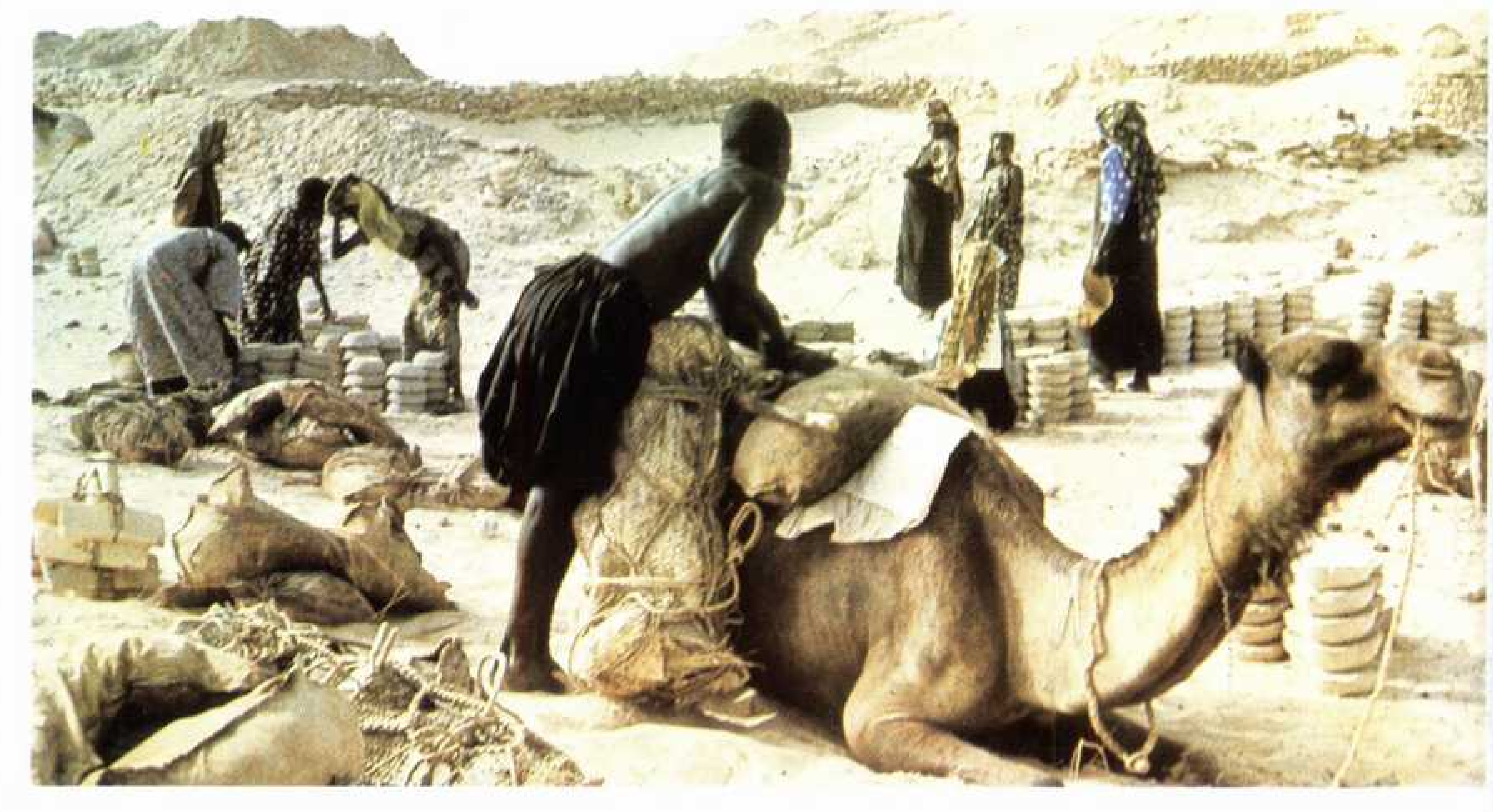

La sal del mar

Un mineral indispensable

FUERON nuestros antepasados del Neolítico los primeros en apreciar la sal y en buscarla en la naturaleza.
El aprovisionamiento en sal de los pueblos primitivos dio pie a fructíferas relaciones comerciales, y la sal ha contado mucho no sólo en los intercambios comerciales, sino también en los culturales de los hombres. La sal fue posteriormente un monopolio de algunos grupos sociales, y los estados la sometieron a diferentes impuestos, como la *gabelle* en el Antiguo Régimen en Francia. Hubo revueltas porque los impuestos sobre la sal eran excesivos. No hay que olvidar que la palabra «salario» tiene la misma raíz que la palabra «sal».
El *salarium argentum* designaba en el antiguo imperio romano la paga que recibían los mercenarios directamente en forma de sal, y no en monedas.
La sal adquirió rápidamente una gran importancia en la cocina, en la economía de los pueblos, y también en las técnicas de conservación de los alimentos (salmueras, salazones), y muy pronto en la industria química.
La sal, después de haber sido monopolio de algunas tribus, es producida en la actualidad industrialmente en la mayoría de los países que disponen de una fachada marítima o de reservas subterráneas de sal gema. La sal gema no es nada más que un yacimiento de sal marina fósil (evaporita). La sal extraída del agua oceánica en las salinas es más rica en minerales asociados y más interesante para la alimentación (en especial, debido a su contenido de iodo). No olvidemos que que la sal disuelta en el agua de mar puede ser además una muy importante fuente de energía, que se piensa explotar actualmente.
La sal proviene, por lo tanto, de dos fuentes esenciales: se la puede extraer de antiguos depósitos de sal gema enterrados en las capas del terreno (como se hace en Salzburgo, en algunas regiones de Alemania, en el norte de España, en Irán, en la región del noroeste de la India, o en Djebel Usdum, cerca del mar Muerto). También se puede obtener en las salinas, por evaporación del agua de mar. Por supuesto, para lograr una gran producción las salinas han de estar localizadas en regiones de costas bajas, en las que el sol brille abundantemente. Las salinas son fáciles de conservar, y el coste de explotación es pequeño, ya que la energía que se utiliza para evaporar el agua —los rayos caloríficos del sol— es gratuita.
Puede ocurrir que el nivel del mar suba localmente —por motivos de eustatismo— y que las salinas sean inundadas. Los fenicios mantenían en su país salinas de las que obtenían un considerable provecho.



Los «panes» de sal. En el Sáhara existen manantiales de agua muy salada que los indígenas explotan desde tiempos inmemoriales (abajo aparecen muchos de estos panes salados en el momento de ser cargados en dromedarios). En Tailandia, los procesos de explotación son semejantes, pero la forma de los panes de sal es diferente (a la izquierda). Las salinas se explotan desde hace siglos, como en Bretaña (a la derecha). El agua del mar es conducida por canales hasta estanques de evaporación. El color de estos últimos está relacionado con la concentración de sal, así como con las bacterias alófilas que pueden proliferar en ellos.



Pero en el primer siglo después de Jesucristo, el nivel del mar subió unos dos metros, y las salinas fueron anegadas. Los principales recursos salinos del imperio romano cambiaron: los mercaderes se abastecieron en las minas terrestres cercanas al mar Muerto, así como en el norte de España, la región narbonesa de las Galias y en Austria. Al final del imperio romano, el nivel de los mares volvió a descender, y las ciudades que se habían enriquecido con la sal terrestre vieron cómo sus ingresos disminuían notablemente. En la época de Carlomagno, una nueva subida de las aguas volvió a poner de actualidad las minas. Estas oscilaciones volvieron a producirse en la época de los vikingos y, prácticamente, durante toda la Edad Media.

Del siglo XV al XVIII, el nivel del mar estuvo siempre por debajo del que ostenta actualmente: las principales zonas de extracción de sal seguían siendo las salinas; las minas eran accesorias.
Aunque la sal sigue teniendo una importancia nada despreciable, ha perdido la que poseía aún hace dos o tres siglos. Ha desempeñado efectivamente un papel considerable a lo largo de la historia. Ocho mil años antes de Cristo, una de las más antiguas ciudades del mundo, la de Jericó, fue, según parece, construida deliberadamente en una zona en la que existía al mismo tiempo alimento, agua y... sal. Cuando las existencias locales de sal no bastaron para satisfacer las necesidades de la población, el comercio se desarrolló. Caravanas de mercaderes empeza-



ron a surcar el desierto... Se produjeron guerras con el fin esencial de apropiarse o defender las áreas productoras. La «guerra de la sal», entre los etruscos y los romanos, que pretendía la dominación de las regiones libias productoras de sal, fue las más típica, pero no la primera ni la última.
Una de las razones que indujeron a los romanos a conquistar Palestina en el año 63 a. de C. fue su deseo de controlar las zonas de explotación de sal que se encontraban en las proximidades del mar Muerto.
Las caravanas no cesaron de comerciar con la sal en Africa, atravesando el desierto. La «Ciudad de la Sal», es decir, Teghaza, desempeñó un papel capital en la historia de esta parte del continente desde el siglo XI hasta la época contemporánea. Venecia realizó todo tipo de intercambios y dominó el Mediterráneo durante dos siglos; dos de las mercancías de las que tenía el monopolio eran el pescado salado y la carne conservada en salmuera.
Se ha dicho que la sal ha permitido los grandes descubrimientos en la medida que posibilitó la conservación de las provisiones necesarias en los largos periplos marinos.
Las colonias de América del Norte tuvieron que luchar cuando declararon su independencia en el siglo XVIII para asegurarse su aprovisionamiento de sal. Es bien conocido, por otra parte, que la *gabelle,* el impuesto sobre la sal que se había convertido en un verdadero símbolo de la opresión del Antiguo Régimen, fue una de las grandes causas del levantamiento popular del 14 de julio de 1789, que marcó el inicio de la Revolución Francesa.
Durante la guerra de Secesión, en América del Norte, la sal volvió a desempeñar un papel de primera importancia. La destrucción de las minas de sal gema de Saltville por las fuerzas de la Unión constituyó un gran golpe para los confederados. La sal fue también el símbolo del levantamiento popular en la India: en 1930, el Mahatma Gandi puso de manifiesto su hostilidad hacia el poder británico negándose a pagar el impuesto sobre la sal, y demostrando que podía obtener una taza de este condimento haciendo que se evaporara el agua del mar en la costa.

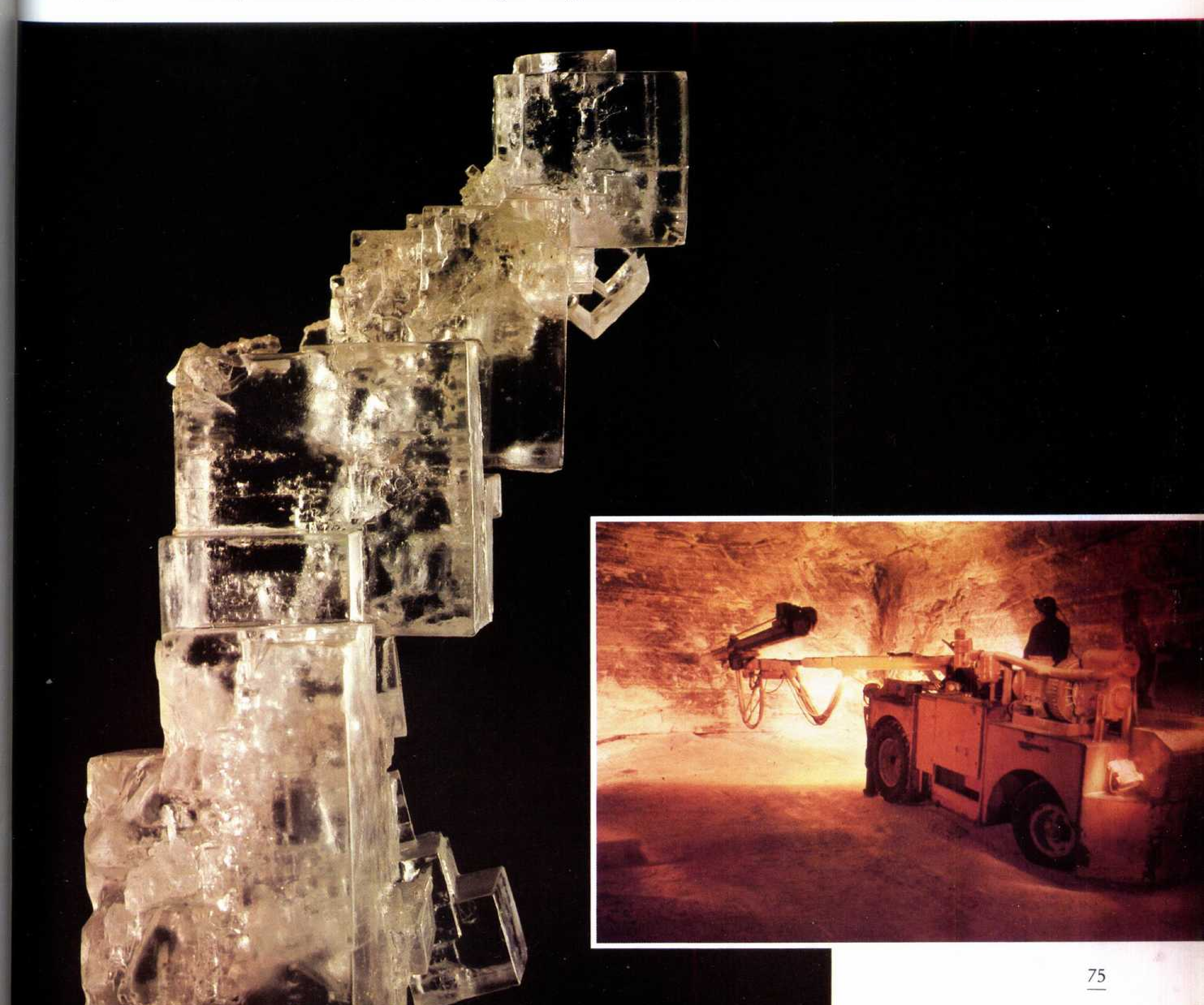
Las evaporitas y las bóvedas saladas

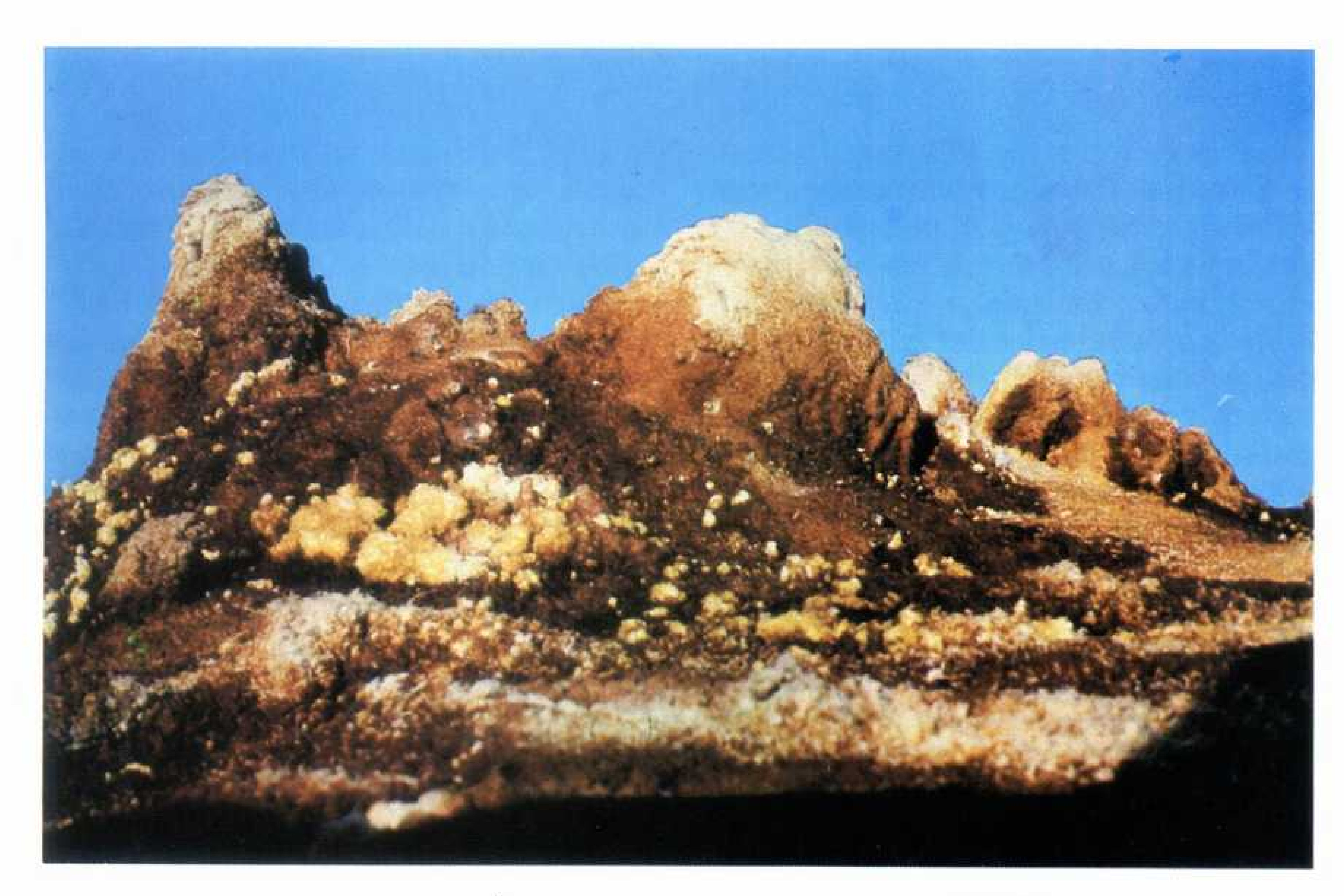
DESPUÉS de que Antoine de Lavoisier, algo antes de la Revolución Francesa, descubriese la composición del agua, los químicos han redoblado sus esfuerzos y se han interesado muchas veces por el caso del agua marina. Además del oxígeno y del hidrógeno, los dos componentes fundamentales de la molécula de agua, se han contabilizado al menos 73 elementos en el agua de los océanos. Seis de ellos tienen mayor importancia que los restantes: el sodio, el magnesio, el calcio, el potasio, el cloro y el azufre. Los iones de estos seis elementos constituyen el 99 por 100 de los compuestos disueltos en el agua de mar. Su salinidad se mide por la cantidad en que están presentes en ella, a pesar de que en el lenguaje vulgar se conoce fundamentalmente por la proporción de sal común (cloruro potásico).
La salinidad del mar varía según las regiones: es, por ejemplo, menor cerca de la desembocadura de los ríos. El mar menos salado de todos es el Báltico, al ser muy frío el clima que impera allí (por lo que la evaporación es débil) y al desembocar en él muchos ríos. En algunas zonas de este mar, la salinidad alcanza la tasa del 5 por 1.000, lo que puede considerarse agua salobre. En el polo opuesto del Báltico hay que citar el mar Rojo, que está también cerrado, pero que no tiene casi ríos y que padece una intensa evaporación; la salinidad sobrepasa allí a veces el 40 por 1.000; la salinidad media de los océanos se sitúa en el 35 por 1.000; varía en general entre el 33 por 1.000 (caso de los mares polares) y el 38 por 1.000 (para el Mediterráneo).
Las mitologías de los pueblos marinos ofrecen casi siempre una explicación fantástica o legendaria del carácter salino del mar. Entre los noruegos, por ejemplo, se hacía referencia a una olla diabólica que había sido abandonada por una mujer en el fondo del mar, y que seguiría produciendo sal hasta el fin del mundo.
Esta leyenda del «puchero infernal» no es tan absurda como podríamos creer. Existen efectivamente en el fondo de los océanos algo así como ollas gigantescas que escupen salmueras. Son los manantiales hipersalados calientes. Estas aguas proceden de las profundidades de la tierra después de haberse calentado con el contacto del magma subyacente.
Sin embargo, la mayor parte de la sal del mar procede paradójicamente de los ríos y de los continentes. El agua del océano primitivo, que se formó después del enfriamiento de la corteza superficial de nuestro planeta, era apenas salada. El sol, al hacer que el mar se evapore parcialmente, deja en él las sales presentes y dirige hacia los continentes (en forma de nubes de lluvia) agua dulce..., que se carga con nuevas sales al lavar las rocas. El océano tuvo tendencia a ser cada vez más salado.
Hace unos 3.500 millones de años, este proceso llegó al punto de equilibrio, ya que el mar empezó a descargarse de sus sales a medida que las iba recibiendo. Este exceso de sales desaparecía en parte en forma de precipitados químicos.
El equilibrio entre las entradas y salidas de sales puede romperse por diferentes motivos en un momento dado. Por supuesto, la salinidad desciende si existe alguna desembocadura de río en las cercanías. Aumenta, por el contrario, en las zonas marinas poco profundas, sometidas a una intensa evaporación y que no poseen ni ríos ni corrientes importantes. Los mares casi cerrados o cerrados que no son alimentados por grandes caudales fluviales y que están expuestos a los rayos de un sol intenso, pierden agua y ven cómo su concentración de sal aumenta regularmente. Es lo que ocurre en el mar Muerto (ese lago salado llamado antaño mar de Sal, mar de Sodoma, mar del Diablo, mar Oriental). La concentración de sales es allí diez veces superior a la media de los océanos. El cloruro de magnesio es proporcionalmente más importante que el cloruro de sodio. Se estima que el mar Muerto contiene 22.000 millones de toneladas de cloruro de magnesio, 11.000 de cloruro de sodio, 7.000 de cloruro cálcico, 2.000 de cloruro potásico y 1.000 de bromuro de magnesio. Cifras impresionantes si pensamos que este mar tiene una superficie ligeramente más pequeña que el lago de Ginebra.
En algunas cuencas marinas cerradas, la evaporación total del agua provoca la formación de depósitos de materiales sólidos en forma cristalizada, llamados evaporitas. Entre las evaporitas más frecuentes, hay que citar a la alita, es decir, la sal gorda de cocina (Na Cl), que se forma en los brazos de mar aislados (natural o artificialmente) y expuestos al sol. Las otras evaporitas de importancia son el yeso (sulfato de calcio hidratado), y el anhídrido (sulfato cálcico, que ha perdido el agua durante su cristalización).
Cuando el agua de mar se evapora, las sales disueltas precipitan en una secuencia perfectamente definida. Este proceso de precipitación tan sólo se inicia cuando

Los depósitos salinos. *La mayor parte de los depósitos de sal se han formado como consecuencia de la evaporación del agua del mar en estanques en los que la circulación era reducida, o en geosinclinales que se cerraron. El esquema muestra la distribución de los principales depósitos de sal en los continentes del globo en las diferentes épocas geológicas. La altura de la columna es proporcional a la intensidad de la actividad del depósito. Nivel 0: ni yeso, ni anidrita, ni sal gema. Nivel 1: depósitos de yeso y de sal gema. Nivel 2: grandes depósitos de sal gema y de anidrita. Nivel 3: yacimientos considerables de sal gema con sales de potasio. Nivel 4: yacimientos considerables de sal gema e importantes yacimientos de sales de potasa.*

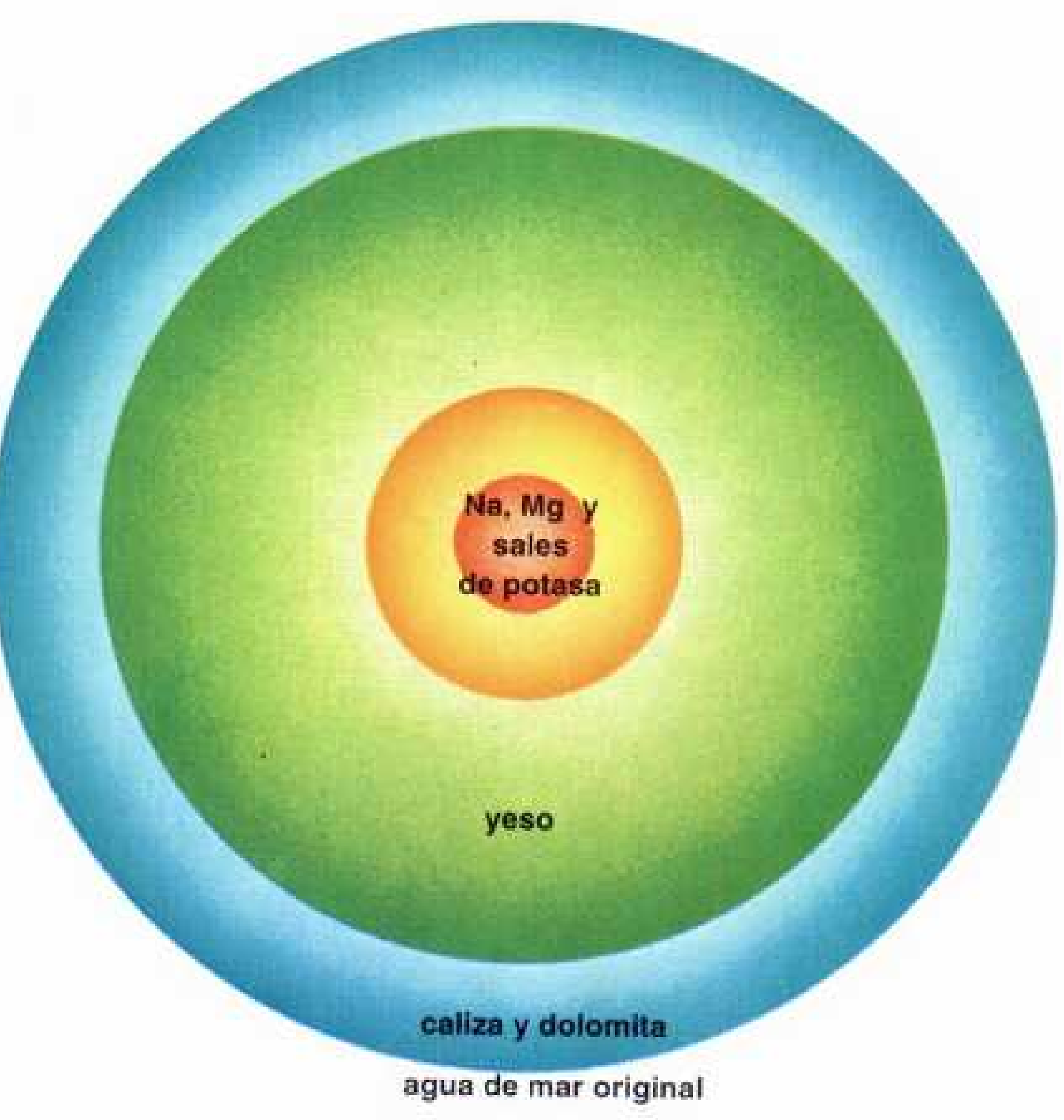
una gran parte del agua ya ha desaparecido, ya que muchas sales no están saturadas en el líquido inicial. Tanto el yeso como el anhídrido precipitan cuando el 80 por 100 del agua ya se ha evaporado, mientras que la alita lo hace a partir del 90 por 100 de evaporación previa. Las sales más solubles, como el bromuro sódico y el cloruro potásico, se depositan en el último momento. En el laboratorio se puede obtener una especie de precipitación fraccionada del agua de mar, y se separan entonces fácilmente los distintos compuestos solubles: se obtiene sucesivamente el carbonato cálcico, el yeso, el anhídrido, el cloruro sódico (sal gorda), el sulfato sódico, el sulfato magnésico y, por último, el cloruro cálcico y magnésico. La mayor parte de los depósitos de sales terrestres conocidos y explotados actualmente se han formado de esta manera en tiempos geológicos, por precipitados de sales contenidas en salmueras aisladas del resto del mar. Muchos de estos depósitos de evaporitas han sido cubiertos por transgresiones marinas después de su formación, y muchos de ellos están sepultados bajo sedimentos de la plataforma continental o del talud continental. Se conocen en el fondo de algunos mares enormes bóvedas de sal, que han sido localizadas gracias a las campañas de sondeos y de muestreos de los barcos oceanográficos, en especial del *Glomar-Challenger*. Existen bóvedas de este tipo en el Mediterráneo y en el mar Rojo, en las regiones costeras de Africa y de América del Sur, en las aguas del golfo Pérsico, en las del este de Canadá, en Australia noroccidental, en el Artico, etc. Algunos de estos depósitos tienen espesores colosales: varios centenares de metros. Las enormes acumulaciones salinas del fondo del Mediterráneo demuestran que este mar se secó y se llenó varias veces en el transcurso del Mioceno, y luego en el Cuaternario. Su último desecamiento completo data de unos seis millones de años; en esta época se cerró el estrecho de Gibraltar debido a la acción de las fuerzas tectóni-

Las minas de sal. *Existen depósitos de sal bajo la tierra emergida. La sal gema se extrae mediante minas de muchos de estos depósitos subterráneos (abajo). En la fotografía grande, un bellísimo ejemplar de sal gema de la mina de San Cataldo, en Sicilia.*





cas. El caudal de los ríos que desembocan en la cuenca no fue suficiente para compensar los efectos de la evaporación: el agua del Mediterráneo se transformó en vapor, y, después de unos centenares de miles de años, no quedó en el fondo de la gran depresión más que un conjunto de lagos hipersalados, separados por bóvedas de varios centenares de metros de espesor. Después, y también debido a las mismas fuerzas tectónicas, Gibraltar se volvió a abrir. Las aguas del Atlántico se abalanzaron en la cuenca mediterránea formando una gigantesca cascada.
Los grandes depósitos de sal de las tierras emergidas demuestran la existencia, en las zonas en las que se sitúan, de antiguas fracturas que afectan a los márgenes de la plataforma continental, en el interior de las cuales existieron cuencas marinas aisladas posteriormente del resto del océano: el agua se evaporó y la sal se depositó. En la actualidad se explotan algunas de estas cuencas, como la de Texas, que data del Pérmico, la de Willinston, a lo largo de la costa del golfo de México, o la cuenca de Michigan, igualmente en Estados Unidos. Los yacimientos de Zechtein (o Kazaniani), en Europa, datan del Pérmico; existen también en Inglaterra y en Polonia occidental. El yacimiento de sal gema de Kemper, en Alemania, se formó en el Triásico, y es explotado desde hace siglos. Ya en la prehistoria se extraía sal en la región de Slazkammergut, cerca de Salzburgo, en Austria, así como en el Cáucaso, en Marruecos, en España y en Egipto.
Hay que reservar una mención especial a las aguas salobres marinas. Contienen cantidades de sales disueltas muy superiores a la media oceánica, al estar contenidas en cuencas poco profundas sometidas a una intensa evaporación. Forman una



La evaporación del agua de mar. *Las sales disueltas en el agua de mar precipitan siguiendo una secuencia determinada. La superficie de los círculos indica el volumen del agua residual en el momento en el que empieza el precipitado de cada sal. Arriba: una formación salina evaporítica.*

materia prima que podría ser muy importante para la industria química. El agua salobre puede existir igualmente en las rocas porosas situadas bajo la superficie del mar. Algunas proceden de la disolución de antiguos yacimientos de sal gema. Este proceso puede ser natural: ocurre a veces que los ríos son desviados hacia los depósitos de sal por modificaciones tectónicas locales. Pero el hombre también puede explotar las minas de sal gema inyectando voluntariamente agua: los recursos de iodo, bromuros, cloruros, etc., que podríamos recuperar de esta forma, deberían bastar para satisfacer nuestras necesidades durante siglos.
Después de que se secaran localmente los antiguos mares, y que dieran lugar a los depósitos de evaporitas, fueron casi siempre cubiertos por sedimentos. Estos tienen a menudo una densidad superior a la de las sales que cubren. Las aplastan, y este fenómeno se traduce en resurgimientos a lo largo de las líneas de menor resistencia del conjunto. Estos resurgimientos constituyen formaciones fácilmente identificables, a menudo de gran espesor, en columnas, en bloques o en forma de hongo, llamadas globalmente bóvedas de sal. Las formaciones rocosas salinas típicas que crecen «perforando» las capas sedimentarias son generalmente denominadas diapiros. En algunos casos, pero no en todos, estos diapiros pueden tener relación con deformaciones geológicas de la región en la que se encuentran. La constitución de las estructuras diapíricas necesita un buen número de circunstancias particulares. El depósito de evaporitas ha de tener al menos de 300 a 500 metros de espesor, y el depósito de sedimentos que lo cubre alcanza unos 1.000 metros.
Cuando empieza a huir hacia arriba, la sal se expande por la superficie del sedimento y toma la forma típica de un cojinete. Se observa a veces la ascensión de potentes pilares de sal, que dan lugar a bóvedas impresionantes. Este movimiento de surgimiento tectónico de la sal ha recibido el nombre de alocínesis por parte de los geólogos. Las formaciones finales son conos ensanchados, de un diámetro de dos a tres kilómetros, con paredes bastante verticales.
Las bóvedas de sal abundan sobre todo en el océano a lo largo de las costas de Texas, de Venezuela, del mar del Norte, en el golfo Pérsico, en las costas de Pakistán, mar adentro frente a Nigeria y al istmo de Tehuantepec, en México. En el interior de los continentes se las encuentra en Holanda, en el macizo de Harz (en Alemania), en Rumania, en varias regiones de la Unión Soviética, en Australia...
Las formaciones diapíricas son importantes para el hombre, bien como fuentes directas de sal, o bien porque son indicadores de yacimientos de petróleo o de gas natural. En efecto, las bóvedas de sal sirven a menudo de «tapadera» a los yacimientos de hidrocarburos.
Las bóvedas de sal se explotan exactamente de la misma forma que las minas de sal gema. En algunas regiones de Estados Unidos o de Alemania existen también complejas redes de galerías de minas, gracias a las cuales los minerales presentes son subidos a la superficie. Estas galerías difieren, sin embargo, de las de las minas de carbón, ya que los yacimientos de sal están por definición exentos de agua. Su seguridad es superior, y los riesgos de desprendimiento, inferiores. Se pueden excavar grandes cámaras de una treintena de metros de diámetro.

Las bóvedas de sal. El mapa muestra la localización de las bóvedas de sal descubiertas gracias a los sondeos del Glomar-Challenger. *El diagrama de abajo deja ver el talud continental al oeste de Cerdeña e indica los puntos de muestreo. La muestra de abajo ha sido obtenida en el punto 134.*

Carbonatos y depósitos clásticos
Sulfatos
Sal gema
Perforaciones petrolíferas
Perforaciones D.S.D.P. (Deep Sea Drilling Project)
Bóvedas de sal

Génova
Marsella
Niza
Tolón
Bastia
CORCEGA
Ajaccio
Barcelona
Madrid
Sassari
Nuoro
CERDEÑA
Valencia
Palma
Ibiza
Cagliari
Granada
Cartagena
Argel

La explotación de las minas de sal plantea, sin embargo, un cierto número de problemas ecológicos. Los residuos salados son lavados por las aguas de lluvia, y aumentan la tasa de salinidad de los arroyos y de los ríos, cuando no se tiran directamente a las corrientes fluviales, como ocurre con los residuos potásicos en Alsacia (contaminando el Rhin). Por supuesto, las sales disueltas por las aguas de lluvia contaminan también las capas freáticas. En algunas zonas, el agua potable empieza a escasear, precisamente porque estas capas se hacen demasiado saladas. Por otra parte, se ha pensado en utilizar las antiguas minas de sal abandonadas para almacenar residuos que no sabemos qué hacer con ellos y que son altamente tóxicos (químicos o nucleares). El argumento fundamental de los partidarios de este almacenaje es que las minas de sal están «secas». Como no existen aguas de infiltración, los desechos no pueden ser reintroducidos en el gran ciclo de la vida. Es seguramente cierto en períodos bastante largos, pero no se puede garantizar que en muchas regiones un reajuste tectónico o una serie de terremotos no cambiarán la fisionomía geológica. Los desechos entrarían entonces en los ecosistemas.



La producción de sal

La extracción de sal mediante la sencilla evaporación de agua de mar expuesta al sol es un método antiguo. Las salinas eran ya utilizadas de esta manera en Vada, en la costa italiana, en el siglo V antes de Cristo. Numerosos campos de producción de sal fueron explotados por los romanos en diversos puntos de la costa mediterránea. En algunas zonas, para acelerar el proceso se elevaba el agua de mar mediante norias accionadas por caballos y se la dirigía hacia estanques de decantación totalmente artificiales, en los que la capa acuática, muy delgada, permitía una importante evaporación y, por consiguiente, una rápida y notable producción. En estos evaporadores se podía obtener un espesor de sal de siete a ocho centímetros en unos veinte días.

Las salinas clásicas casi no han cambiado desde la época romana. El agua de mar penetra por canales que pueden ser cerrados mediante portones. El líquido salado se expande gracias a canales secundarios por grandes superficies en las que la capa acuática es poco profunda. El sol hace su trabajo.

La sal es recogida con rastrillos por los hombres cuando alcanza un espesor de varios centímetros. Esta forma de actuación es utilizada desde hace siglos, sobre todo en Trapani, en Sicilia, en la costa norte del Adriático, en la costa del Languedoc, en Tunicia y en Libia.

Aunque los métodos de recogida y de refinado de la sal han evolucionado, el sol sigue siendo el principal artesano de la producción de sal en un gran número de países. Entre las salinas más conocidas hay que citar las de la bahía de San Francisco en California, la de Long Island en las Bahamas, las de Bonaire en las Antillas Holandesas, la de Salins-de-Giraud en la Camarga, la de Dampierre en Australia noroccidental, la de Dry Creek en Australia meridional, la de la bahía de California en México, la de Adén, la de Sri Lanka, etc.

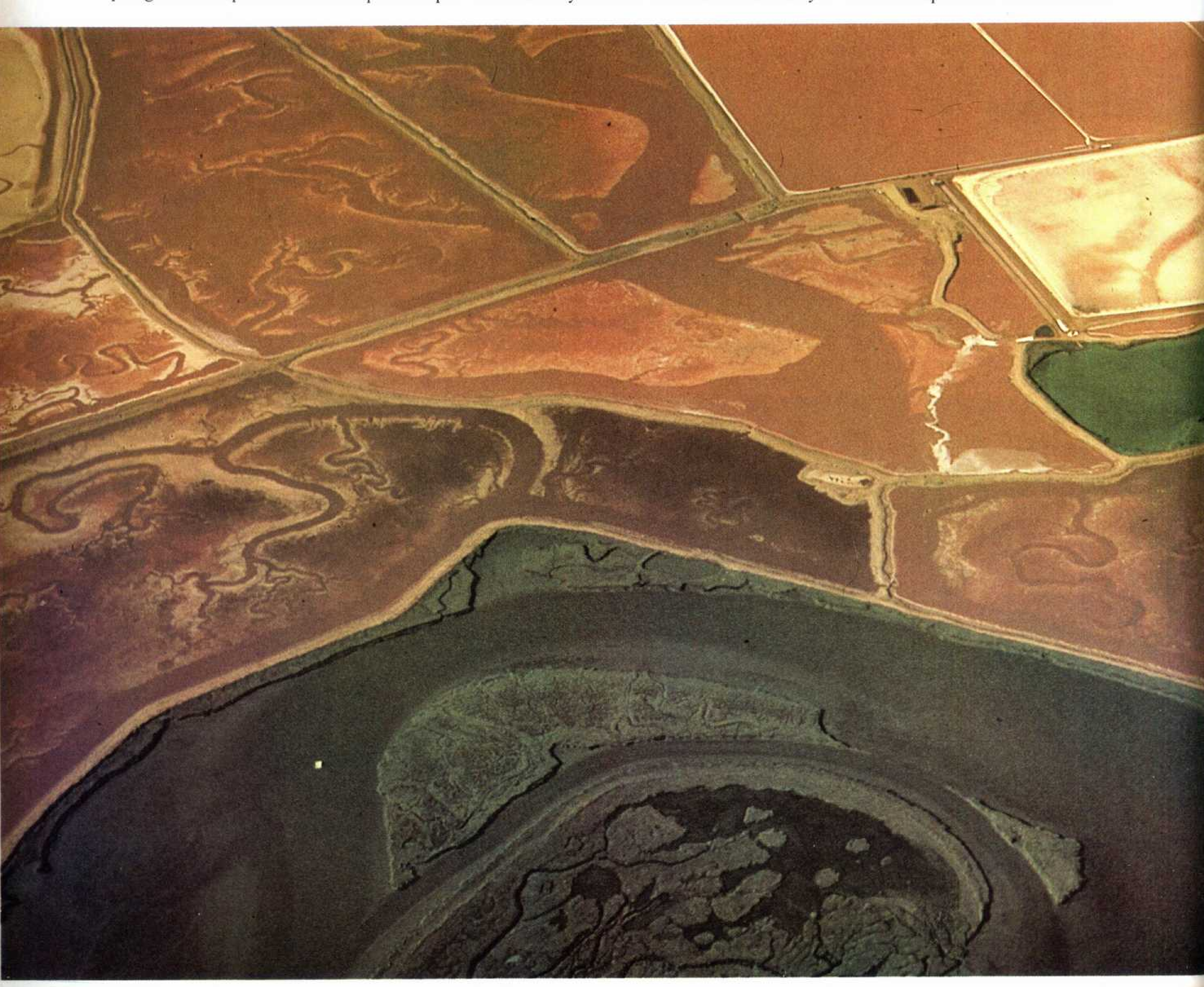
Las salinas de la bahía de San Francisco son las mayores del mundo. Producían ya en 1868 unas 17.000 toneladas de sal y satisfacen hoy en día la gran mayoría de las necesidades americanas. La sal se refina *in situ* hasta conseguir un grado de pureza del 99,63 por 100.

En la antigüedad, en la Edad Media e incluso hasta la Edad Moderna, se utilizaba a veces el viento para mover molinos gracias a los que se subía el agua a estanques de decantación.

Cerca de Alejandría se utilizaron las norias llamadas de Arquímedes (aunque probablemente fueron inventadas en Mesopotamia).

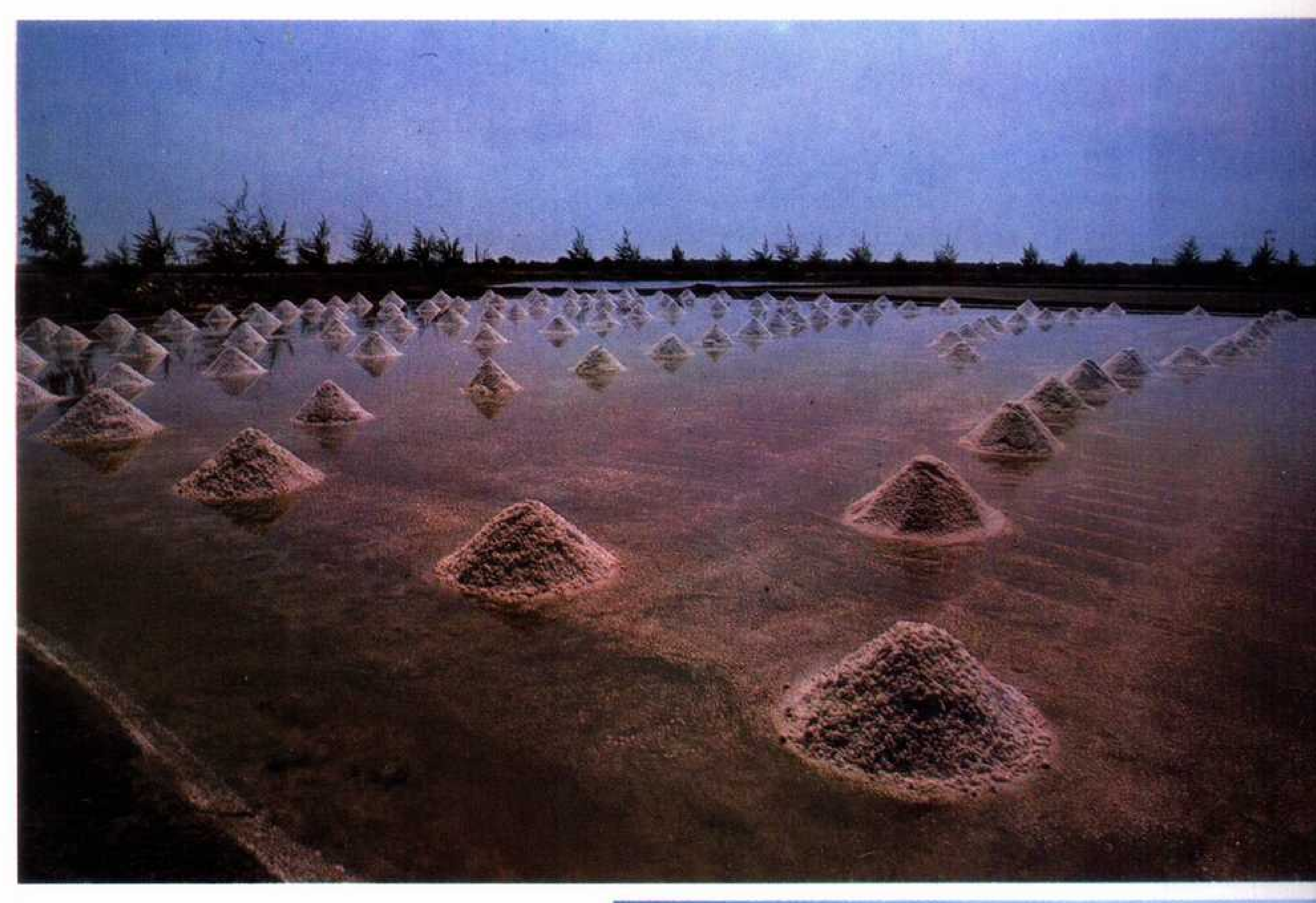
Para que las salinas sean productivas se deben cumplir varias condiciones. Hay que disponer de un flujo permanente de agua (las zonas en las que las mareas son importantes convienen desde este punto de vista). El sol tiene, por supuesto, que brillar; es muy importante que sople el viento, que acelera la evaporación.

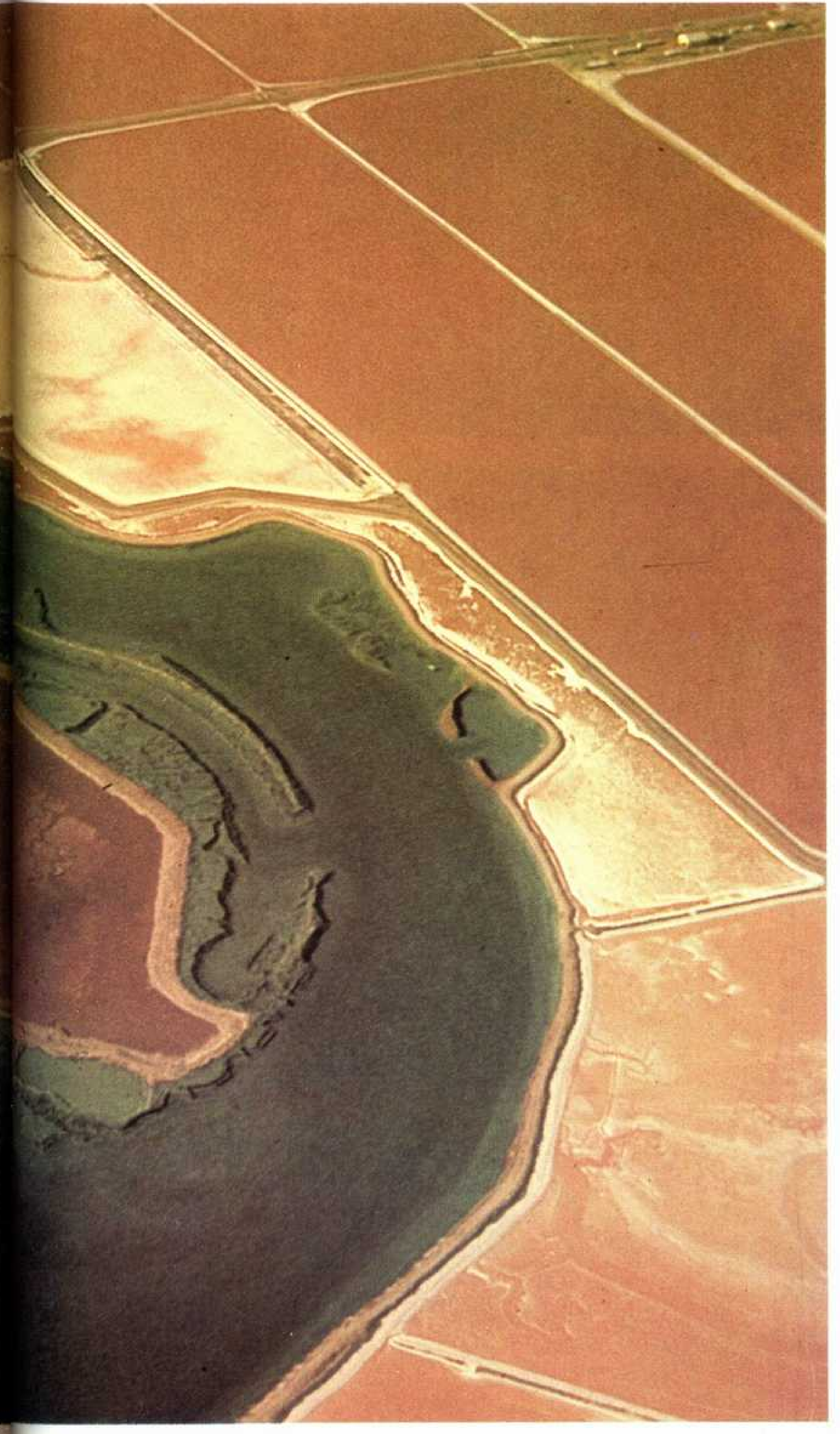
Se necesita además un soporte arcilloso, y no arenoso, para servir de fondo a los estanques de decantación.



Para obtener una tonelada de sal, hay que provocar la evaporación de una media de 37.850 litros de agua de mar (se necesita, por supuesto, una cantidad mucho mayor si se quiere utilizar para ello un agua poco salada como la del Báltico). En realidad, el proceso de evaporación se desarrolla de una forma gradual: la solución salina es llevada a una primera serie de estanques, en los que se concentra. Después pasa a otros estanques, cada vez menos profundos, hasta las salinas propiamente dichas, donde acaba de evaporarse abandonando la sal en el suelo. El interés de disponer de una serie de estanques reside en que la producción es más eficaz. Por otra parte, es posible rentabilizar, gracias a producciones complementarias, los estanques en los que la concentración no es aún muy elevada: se pueden criar peces que toleran aguas muy saladas, o algunos crustáceos alófilos, como *Artemia salina*.

Las salinas constituyen además un medio natural rico y productivo, que utilizan

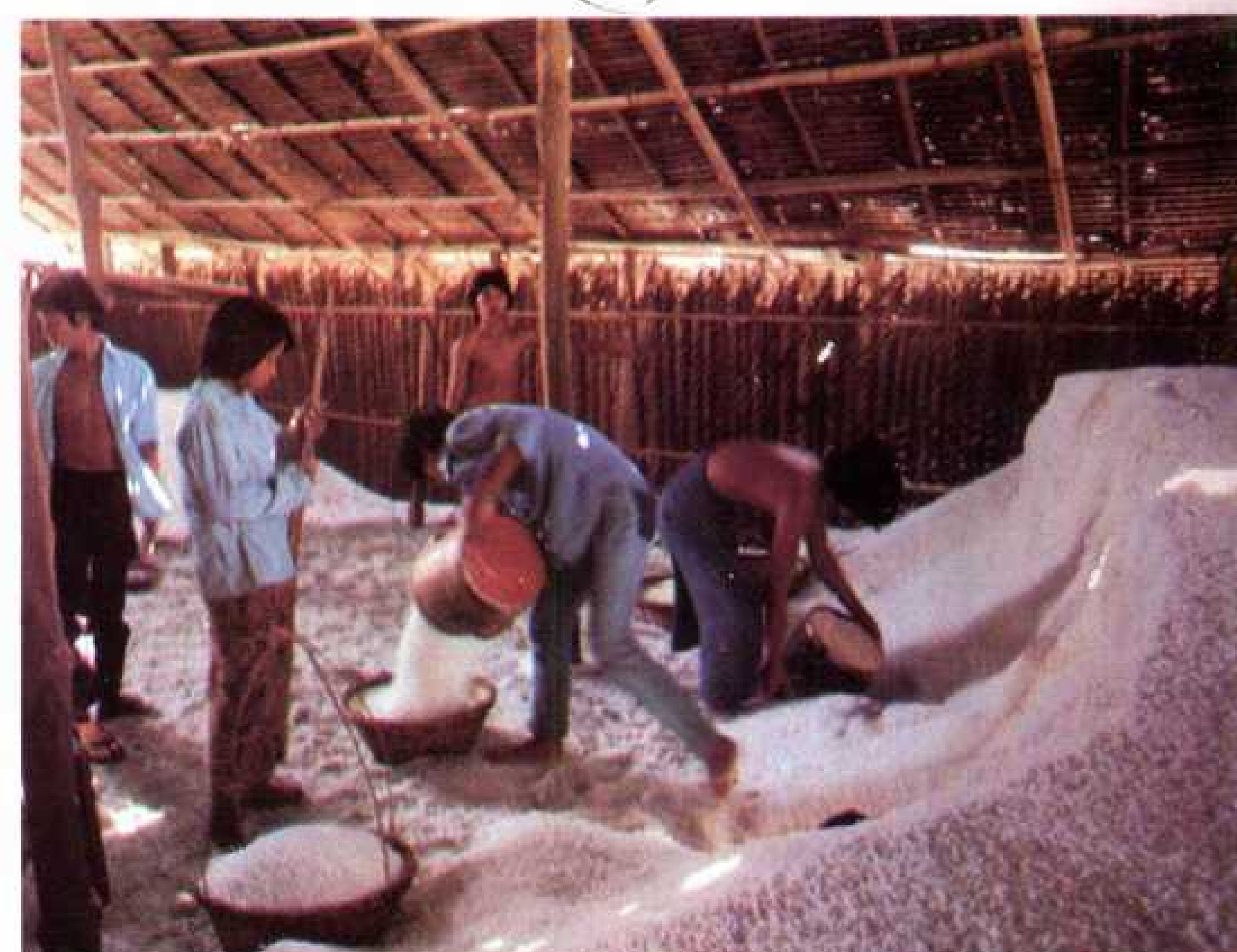


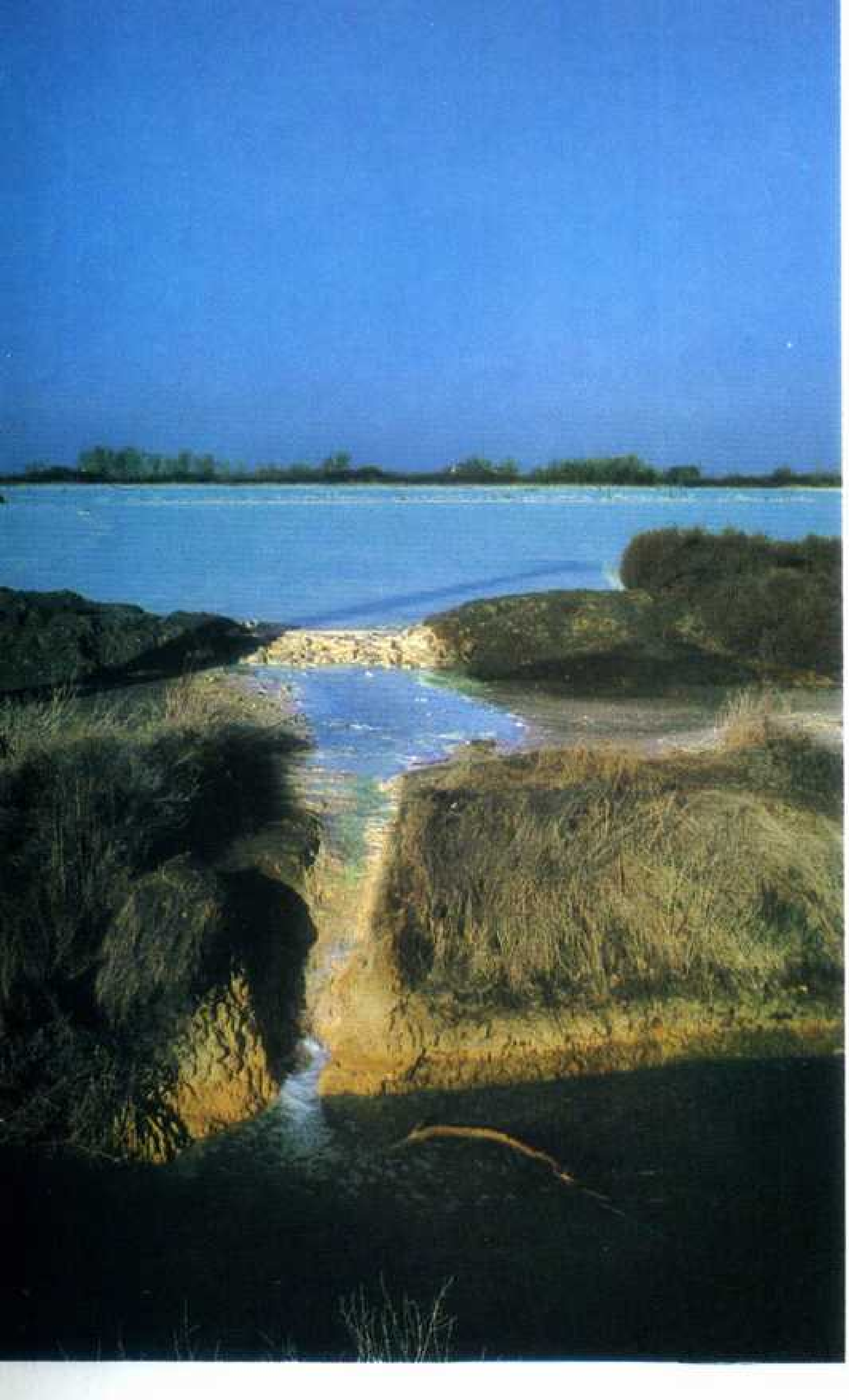


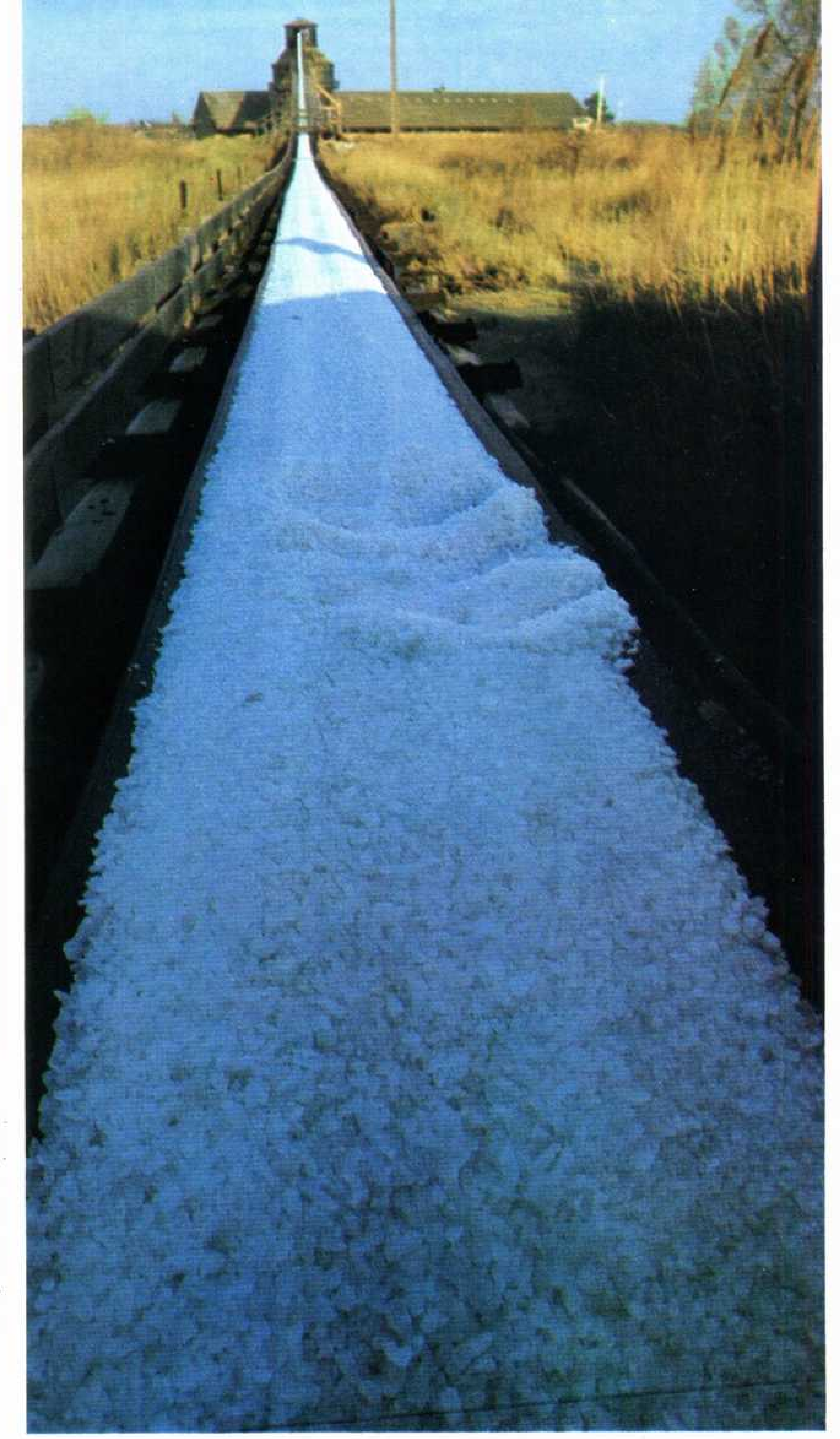
Salinas antiguas y modernas. *Las salinas de la bahía de San Francisco (a la izquierda) son las mayores del mundo. Circulan por ellas anualmente unos 34.000 millones de litros de agua salada, permitiendo una producción de un millón de toneladas de sal. Existen muchas otras salinas, en la mayoría de las cuales el trabajo está poco mecanizado. Las fotografías de esta página muestran algunos aspectos del trabajo de los obreros de Tailandia. Los estanques son excavados y arreglados a mano; la sal se transporta en cestos de mimbre. La puesta en explotación de las salinas no es algo tan sencillo como se podría creer: se requiere un gran conocimiento de las leyes de la hidráulica. Las grandes mareas y los tsunamis pueden provocar catástrofes. Las variaciones de gran amplitud del nivel marino durante el transcurso de los siglos pasados han esterilizado algunas salinas, que se abandonaron, mientras que han permitido la creación de otras.*



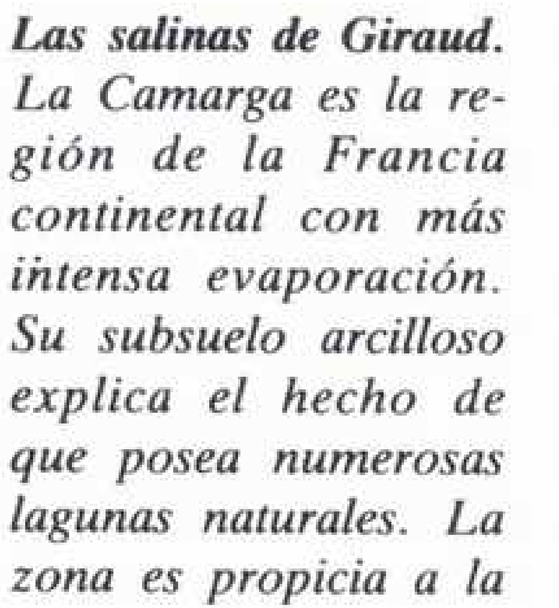




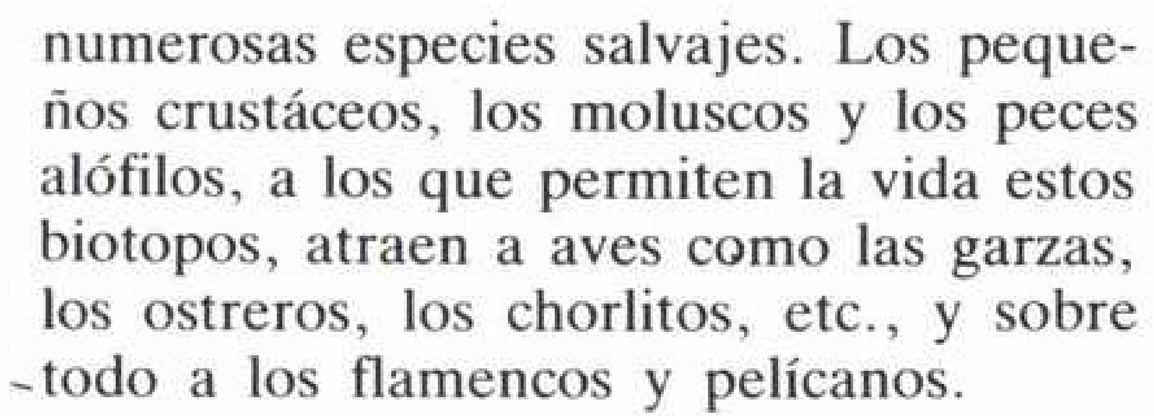






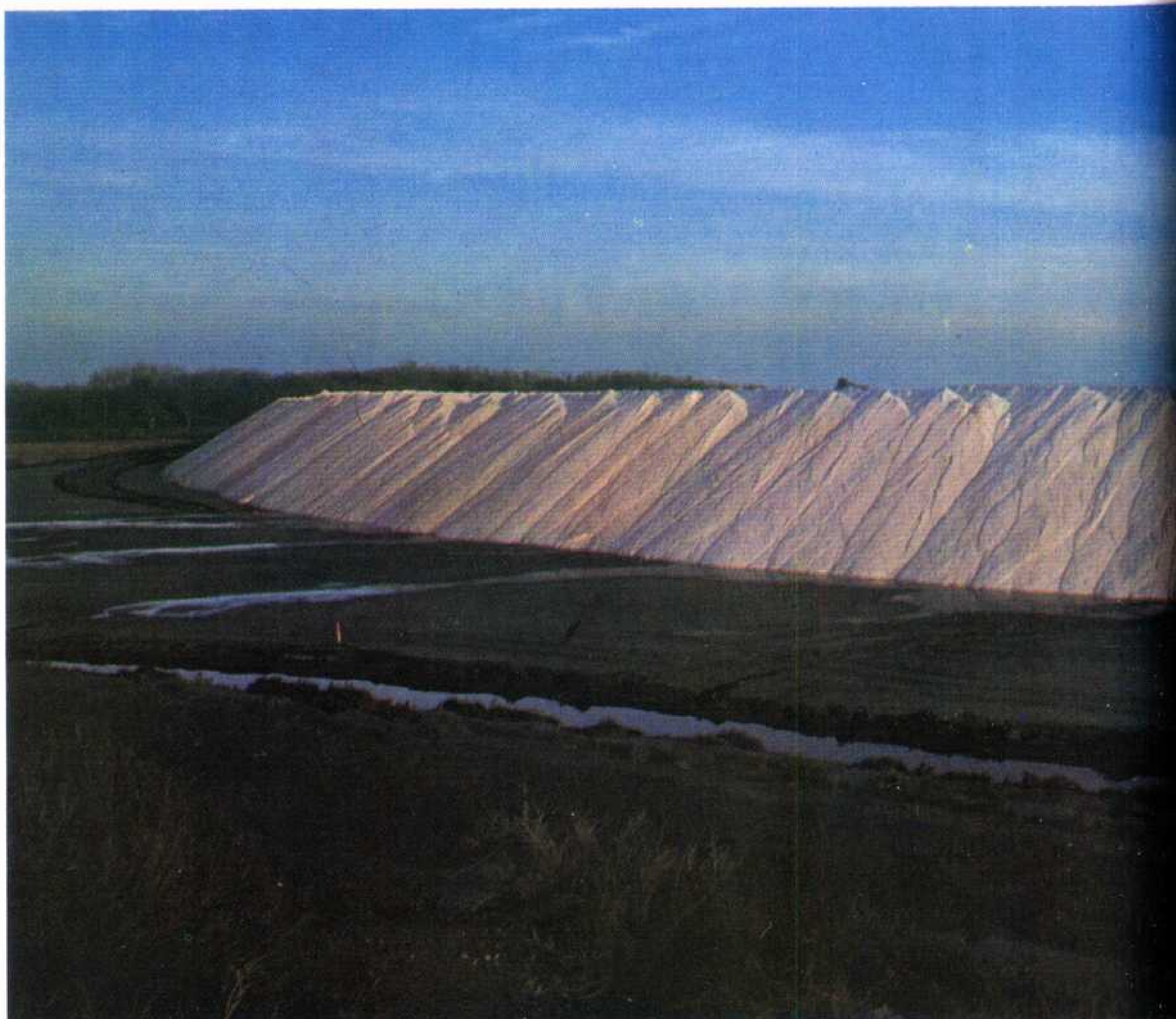


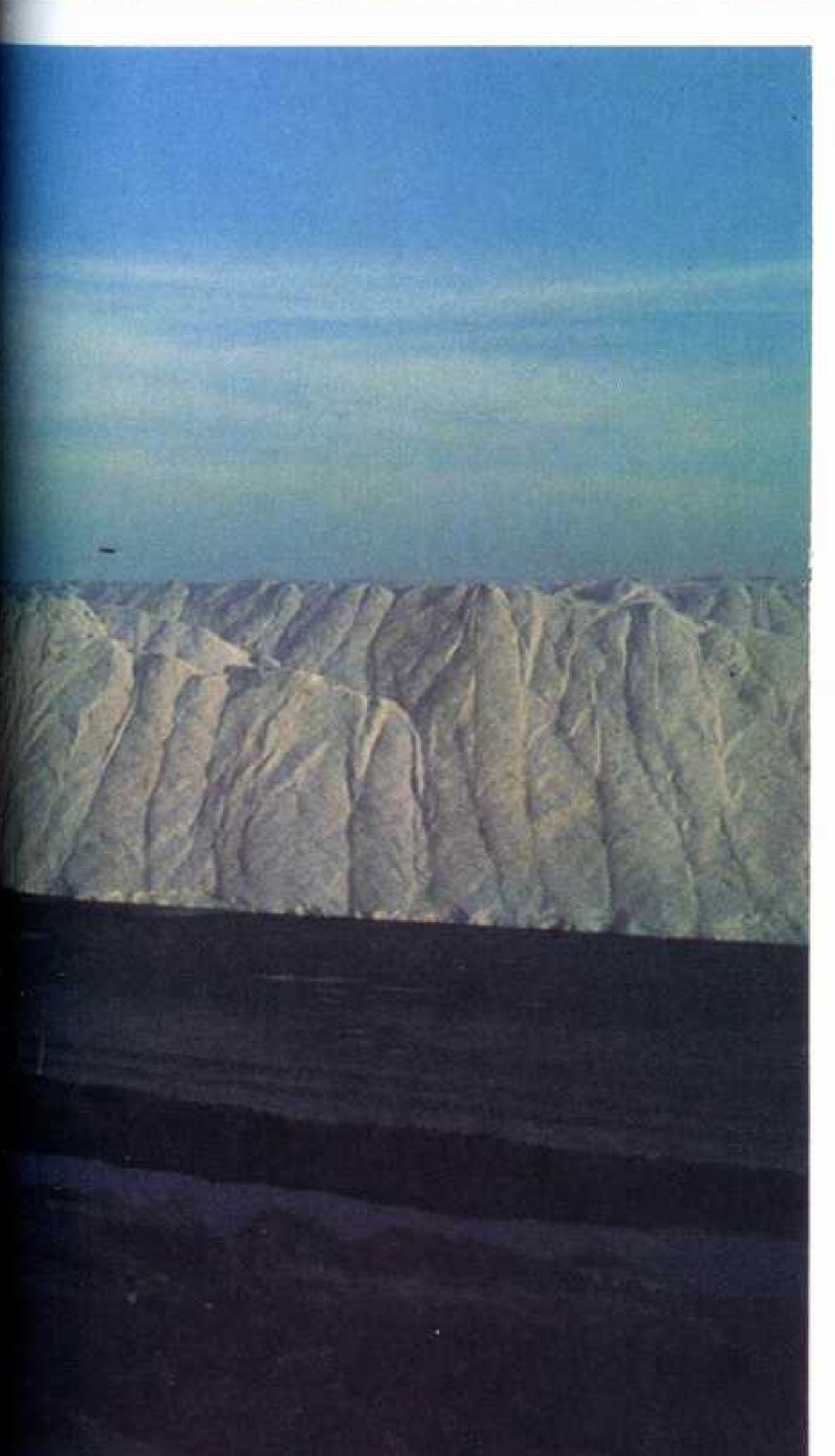
Las salinas de Giraud. *La Camarga es la región de la Francia continental con más intensa evaporación. Su subsuelo arcilloso explica el hecho de que posea numerosas lagunas naturales. La zona es propicia a la existencia de salinas. Las situadas en Giraud producen no menos de 900.000 toneladas de sal al año. Las fotografías de esta doble página muestran algunos aspectos de esa enorme explotación.*

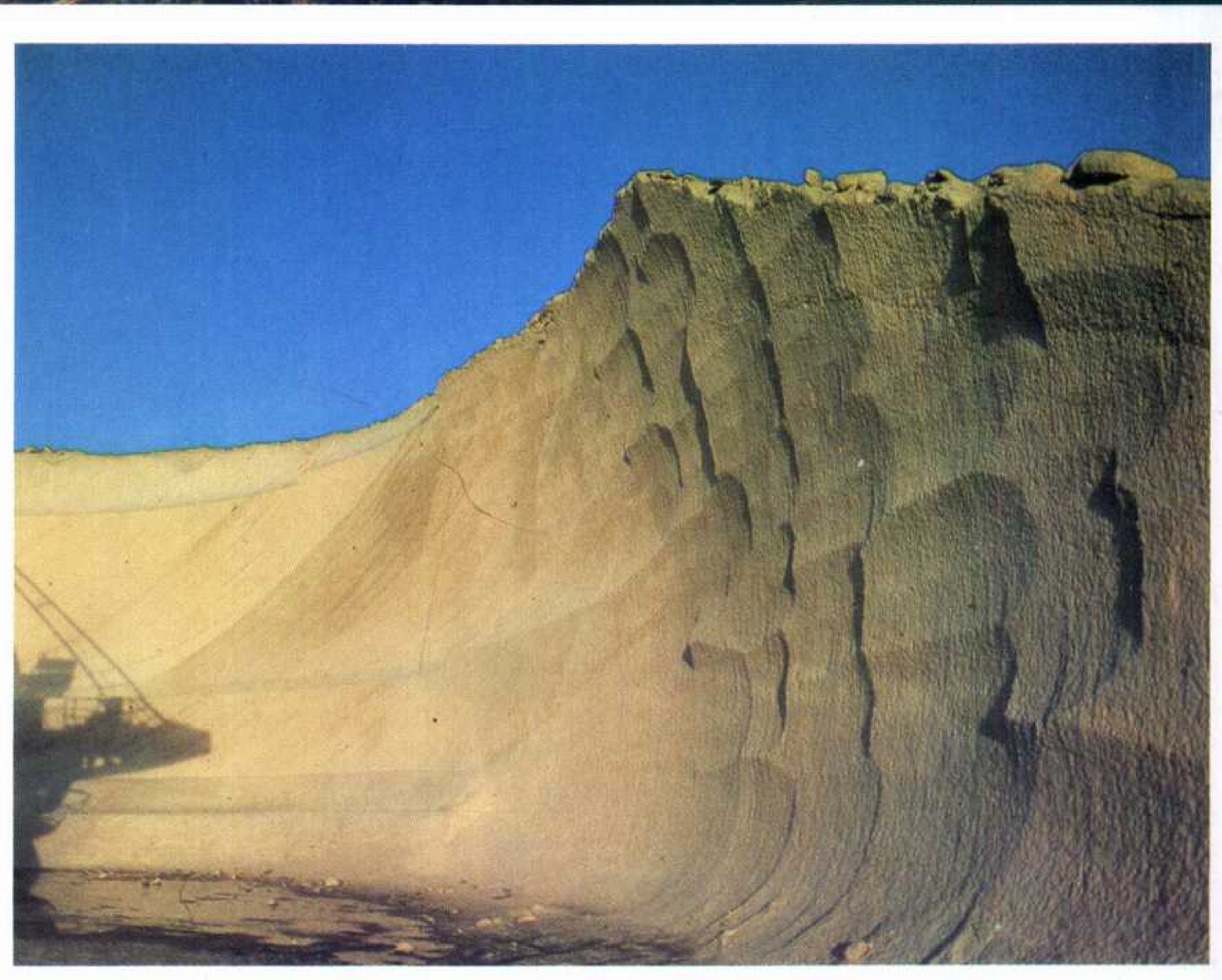


numerosas especies salvajes. Los pequeños crustáceos, los moluscos y los peces alófilos, a los que permiten la vida estos biotopos, atraen a aves como las garzas, los ostreros, los chorlitos, etc., y sobre todo a los flamencos y pelícanos.

A medida que el agua se va concentrando y pasando a estanques menos profundos, los animales van escaseando. Cuando la concentración alcanza dos o tres veces la del agua de mar, las pocas especies que aún sobrevivían desaparecen. Toda la zona termal de la salina, en la que se desposita la sal, es casi abiótica. Sin embargo, el proceso de precipitado de la sal está acelerado por bacterias muy alófilas, que consiguen aguantar altísimas concentraciones salinas. Estos microorganismos tiñen de rosa o de rojo las aguas que colonizan: son los responsables de los maravillosos colores de las salinas.







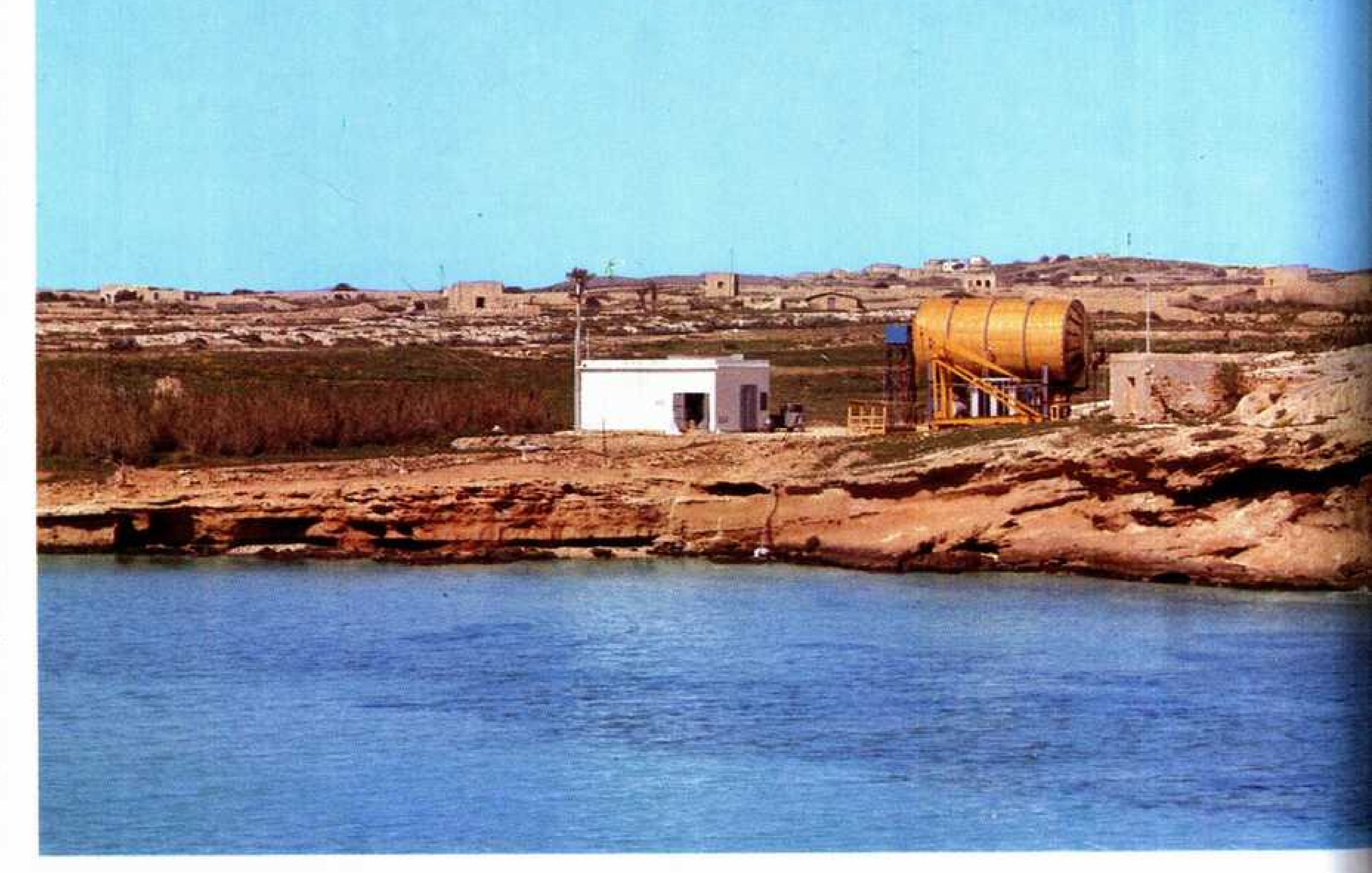
La desalinización

De la misma forma que es posible extraer sal a partir del agua de mar, se puede obtener agua dulce a partir del mar eliminando la sal. La desalinización está a la orden del día. Ya es practicada a gran escala por la propia naturaleza: el agua evaporada por el sol, y que se moviliza en la atmósfera en forma gaseosa antes de volver a caer en forma de lluvia o de nieve, es agua dulce. Las unidades artificiales de desalinización utilizan en su gran mayoría el mismo principio: evaporación y posterior condensación. Pero la energía del sol es infinita, mientras que las demás energías eventualmente utilizadas para obtener la evaporación son a menudo no renovables y caras.

Ya existen en varios países plantas desalinizadoras de gran tamaño, algunas de las cuales pueden producir 15.000 litros de agua dulce al día.

Los intentos de desalinizar el agua de mar se remontan a la antigüedad. Existen textos en los que Aristóteles describe la manera que hay que emplear para hacer menos saladas las aguas salobres (recomienda hacerles atravesar filtros de arena). En la época de la reina Isabel existía en Inglaterra una amplia bibliografía especializada en este tema. Sir Francis Ba-

¿Cómo obtener agua dulce? *Algunos países desérticos aunque ricos (como los estados árabes productores de petróleo) tienen grandes necesidades de agua dulce, pero poseen pocas reservas subterráneas. Su abastecimiento se logrará en los próximos años gracias a la captación de enormes icebergs, como el que aparece arriba empujado por tres barcos. Otra solución reside en la desalinización del agua de mar. La fotografía de abajo muestra una pequeña unidad de este tipo, construida en territorio italiano, en la costa del islote casi desértico de Lampedusca, situado entre Sicilia y Túnez.*



con (fallecido en 1626) describía un método eficaz para eliminar la sal utilizando una serie de filtros a base de arena y tierra. Casi en la misma época, los marineros de la Costa de los Piratas (actuales Emiratos Arabes) habían puesto a punto un procedimiento para obtener fácilmente agua potable a partir del mar: excavaban un agujero en una playa, algo más abajo de la línea de marea alta, y lo suficientemente profundo como para alcanzar el nivel de la marea baja. Cuando el mar subía, el agujero se llenaba de agua, que, sin ser totalmente dulce, era, sin embargo, bebible.

Todos estos métodos estaban basados en una realidad física conocida actualmente por los científicos: la de los intercambios de iones. Se anticipaban —por supuesto, sin saberlo— a la teoría de la disociación iónica, postulada por los químicos alrededor de 1880.

El viejo sueño de la humanidad —lograr agua dulce a base de agua de mar— es en la actualidad totalmente realizable.

Los métodos basados en la destilación (eva-

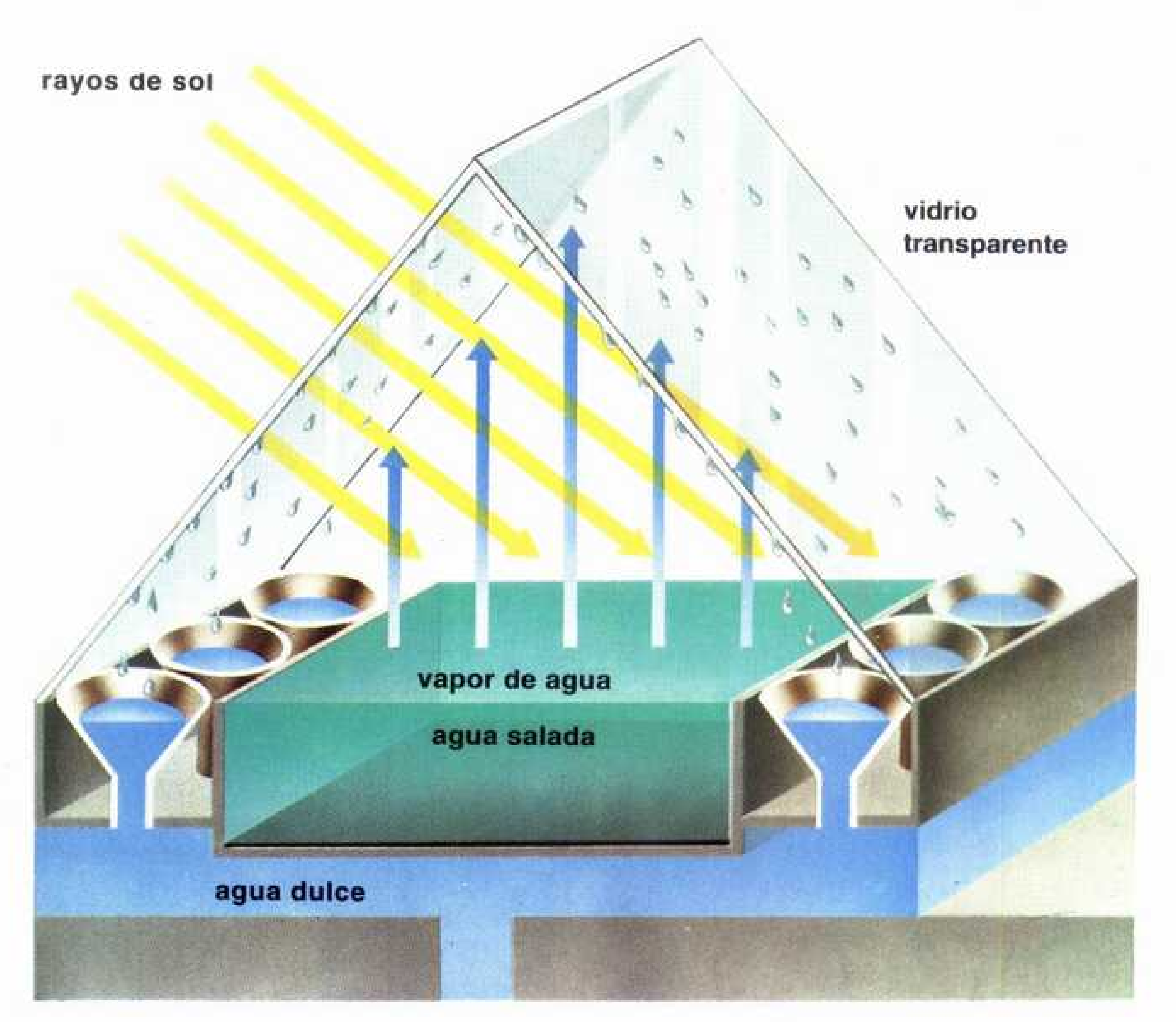


Millones de litros de agua dulce. *Actualmente se construyen plantas desalinizadoras en varias regiones del mundo. Abajo: una vista de las plantas de Porte Torres, en Cerdeña. A la derecha: los depósitos que reparten el agua de una gran planta potabilizadora que funciona en Kuwait.*

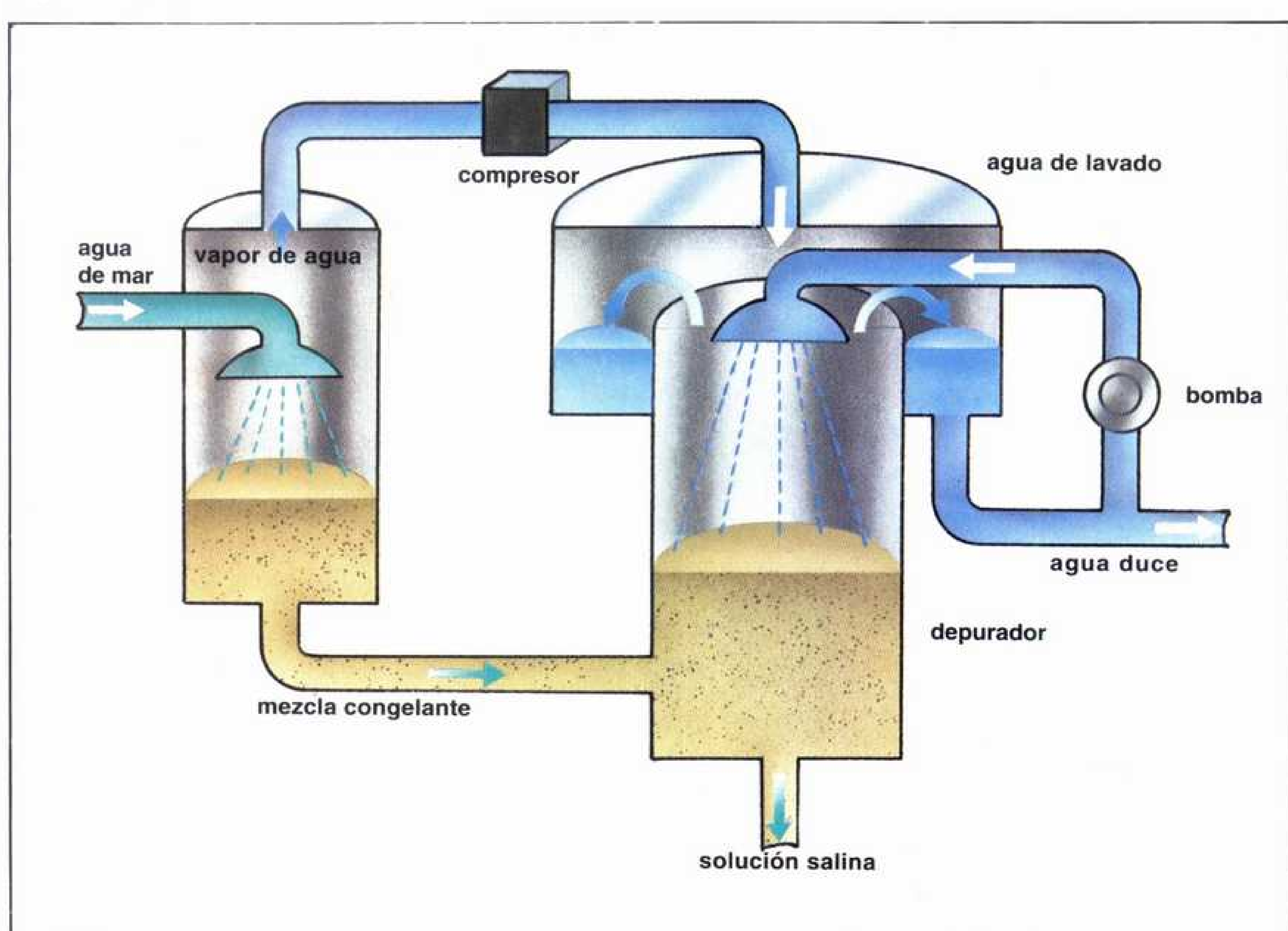
poración), la cristalización (congelación) y la ósmosis inversa, parecen los más sencillos y los más prometedores.

El proceso de ósmosis inversa, o hiperfiltración, consiste en ejercer sobre el agua salada una presión superior a la de la presión osmótica que reina en ella (que depende de la cantidad de sales disueltas). Si se coloca una membrana semipermeable entre una solución salina y agua pura, y se ejerce sobre la solución una presión mecánica superior a la presión osmótica, el agua dulce tiende a abandonar la zona más salada y a pasar a través de la membrana. Se la recupera en la otra mitad del sistema.

Existen procedimientos de desalinización más sofisticados, como la electrodiálisis, la absorción por resinas, el intercambio iónico, la difusión controlada, etc. Son eficaces, pero aún se hallan en fase experimental.



El destilador solar. *Está compuesto esencialmente por un estanque con fondo pintado de negro (para absorber mejor los rayos caloríficos) al que llega el agua salada. El calor del sol hace que se evapore el agua dulce. Las gotitas de vapor de agua se condensan en las paredes de vidrio que cubren el conjunto y son canalizadas por colectores hacia depósitos recuperadores. El dispositivo permite utilizar una energía gratis y renovable. El esquema de aquí al lado da una idea del funcionamiento de este destilador.*



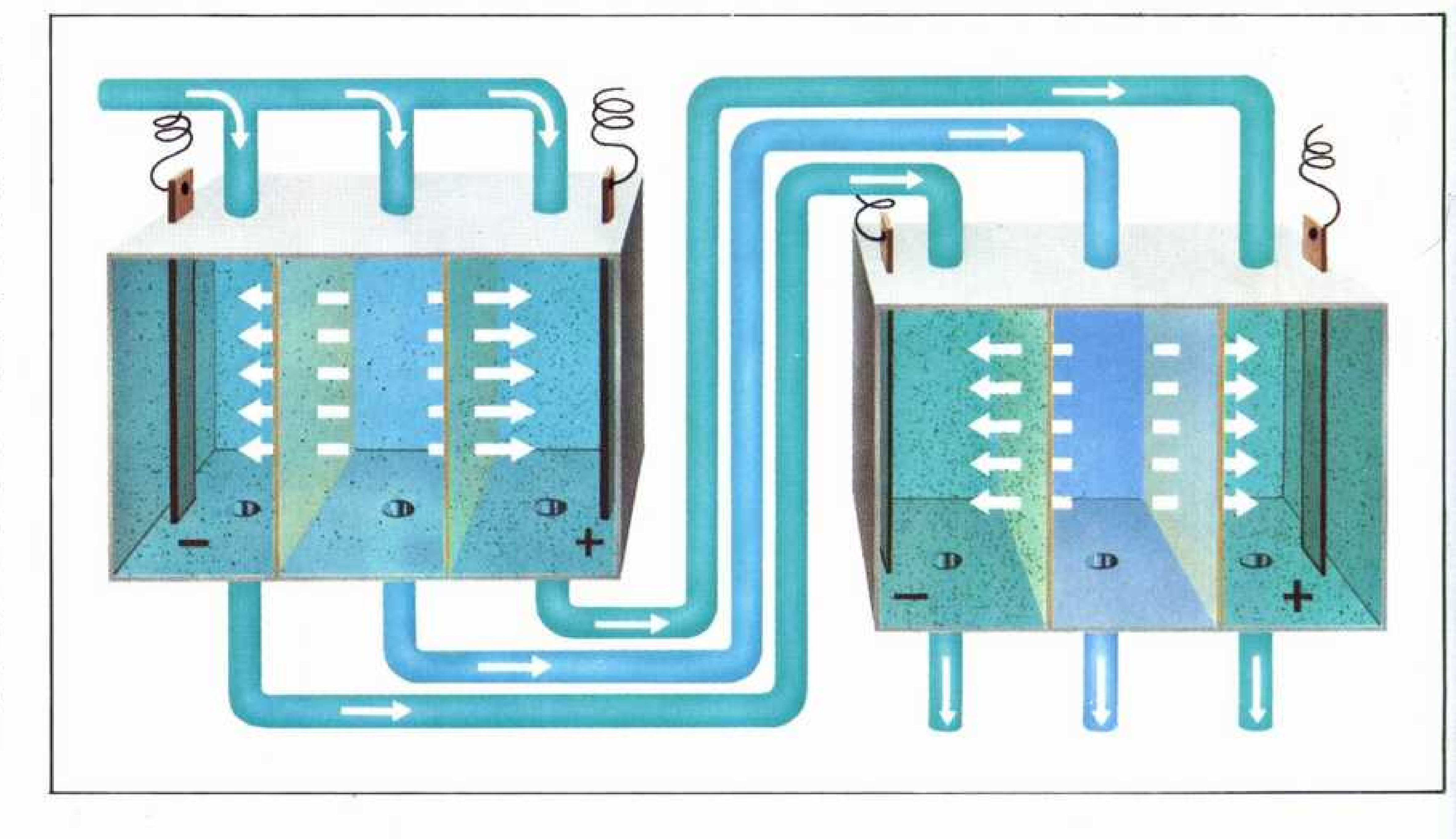
Uno de los métodos más empleados, al ser de los más baratos, es el llamado de destilación multifásica. Todo el líquido encerrado en un recinto se halla cubierto por una cierta cantidad de vapor: la relación entre la masa líquida y la masa gaseosa depende en especial de la presión y de la temperatura. El producto de la presión del vapor por el volumen de este último es constante. Si la presión desciende, una parte del líquido se vaporiza inmediatamente para restablecer el equilibrio anterior.

Se utiliza esta propiedad con el agua de mar: se la hace pasar por cámaras sucesivas, en las que la presión es cada vez más baja. El agua se va vaporizando cada vez más en los distintos compartimientos, abandonando, por supuesto, su sal.

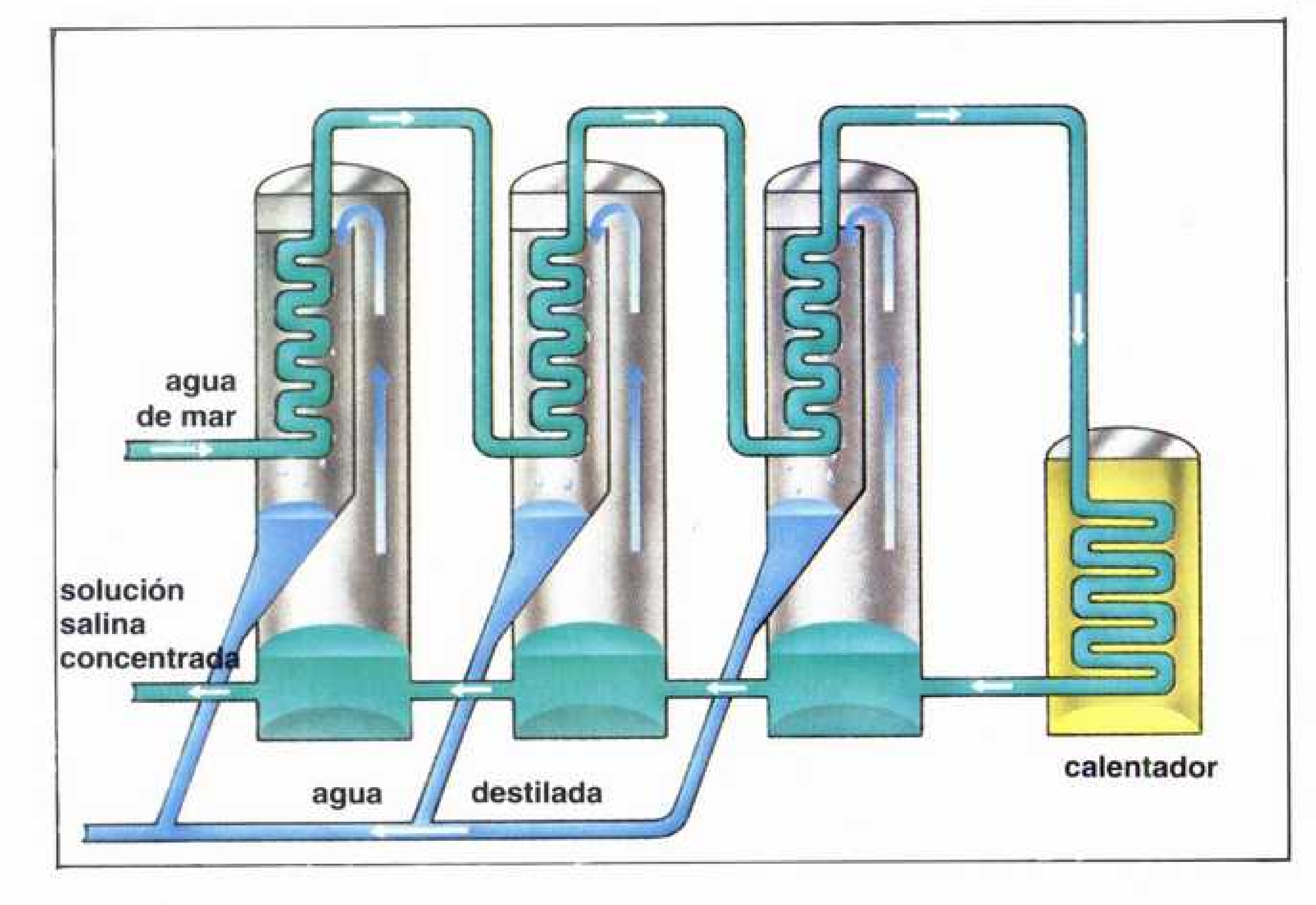
En el último compartimiento se baja además en gran medida la temperatura: el vapor de agua se condensa y se recoge el líquido desprovisto de sal mediante planos inclinados.

La desalinización por congelación al vacío. *El agua de mar se enfría hasta una temperatura cercana a su punto de congelación y pasa a una cámara en la que impera una presión muy baja (alrededor de unos tres milímetros de mercurio). Una parte del agua se vaporiza y es recogida así: es agua dulce. Al vaporizarse esta agua extrae calorías del resto del líquido, que se transforma en hielo, posteriormente lavado y recuperado (encima).*

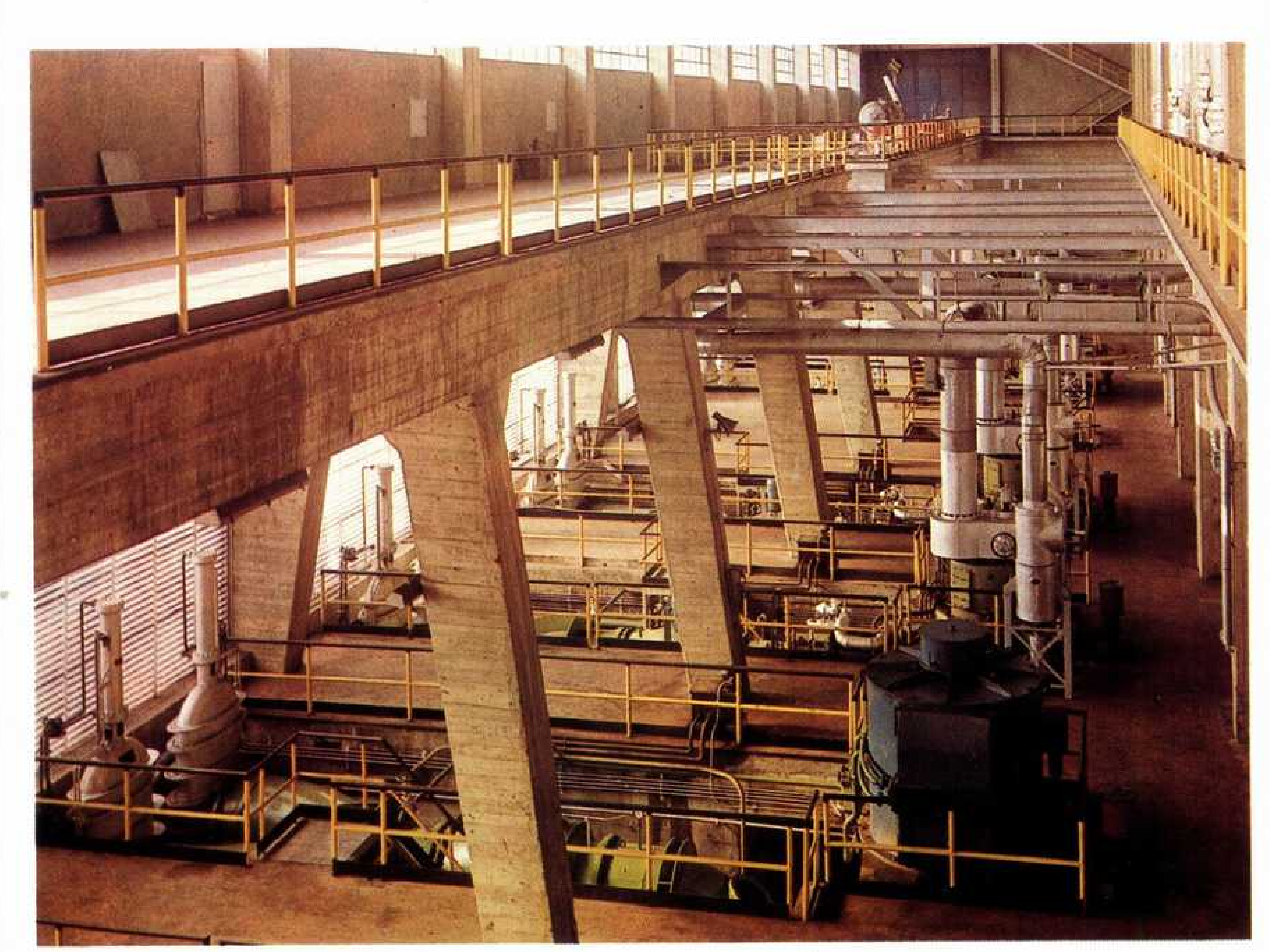
La desalinización mediante electrólisis. *Las sales del agua de mar se encuentran en forma iónica. Si hacemos pasar una corriente eléctrica por esta solución, los iones cargados positivamente (como el sodio) migran hacia el polo negativo, y los iones cargados negativamente (como el cloro) hacia el polo positivo. Unas membranas semipermeables colocadas en el estanque de electrólisis permiten separar el agua dulce de las sales (a la derecha).*







La destilación multifásica. *En este procedimiento se calienta el agua de mar a 93 °C y se la envía a torres dispuestas en serie. En cada una de estas torres, el vapor que se forma se condensa en las paredes más frías. El esquema de la derecha da una idea de este principio. Arriba: la planta de desalinización multifásica de Tijuana, en México. Abajo: la planta de Tarento, en el sur de Italia.*



Existen en la actualidad plantas de destilación multifásicas en varios países. La de Tijuana, en México, produce diariamente 28 millones de litros de adua dulce a partir del agua del océano Pacífico. Una planta similar en Trapani, Sicilia, obtiene al día 5,5 millones de litros de un agua que tan sólo contiene 1 p.p.m. (parte por millón) de sal. Desde 1967, los habitantes de Key West, en Florida, utilizan diariamente 9,5 millones de litros de agua dulce extraídos del océano Atlántico mediante este mismo procedimiento. En Djubail, en Arabia Saudita, otra planta desalinizadora de este mismo tipo, inagurada en 1912, utiliza el agua del golfo Pérsico y produce 240 millones de litros de agua dulce al día.

La demanda mundial de agua dulce no deja de crecer, y lo seguirá haciendo con toda seguridad durante los próximos decenios, debido al aumento de la población humana, al incremento de las actividades industriales y, sobre todo, al derroche que estamos realizando, contaminando nuestras reservas de agua potable. La desalinización del agua de mar será utilizada cada vez con mayor frecuencia. Sin embargo, no hay que olvidar que se trata de un proyecto caro: sea cual sea el método escogido, hay que pagar con energía, y, por lo tanto, con dinero, la separación del agua y de la sal. Los países productores de petróleo podrían proveerse sin problemas de grandes plantas desalinizadoras gracias a sus reservas de hidrocarburos.

Pero los países del Tercer Mundo desprovistos de riquezas energéticas (América Latina, Sahel, etc.) no conseguirán seguramente costearse instalaciones de este tipo, aunque sufran cruelmente —de hecho, varios de estos países soportan una atroz sequía— por la escasez de agua.

Las energías de la sal

EL mar es un enorme yacimiento de energía bajo formas muy diversas (energía térmica, cinética, etc.). Una de ellas es la de la sal.

Existen métodos directos e indirectos para explotar la energía de la sal. Las fuentes indirectas asocian la desalinización a la producción de energía mediante un proceso llamado destilación integral (por oposición a la destilación independiente, que produce como subproductos agua dulce y agua hipersalada). La energía de la sal puede ser igualmente explotada de manera más directa, gracias a las leyes de la ósmosis. Sabemos que se trata de un fenómeno universal. En un líquido disolvente, los iones disueltos se encuentran más o menos concentrados. Si se coloca una membrana semipermeable entre dos soluciones de diferentes concentraciones, el líquido disolvente pasa desde la solución menos concentrada.

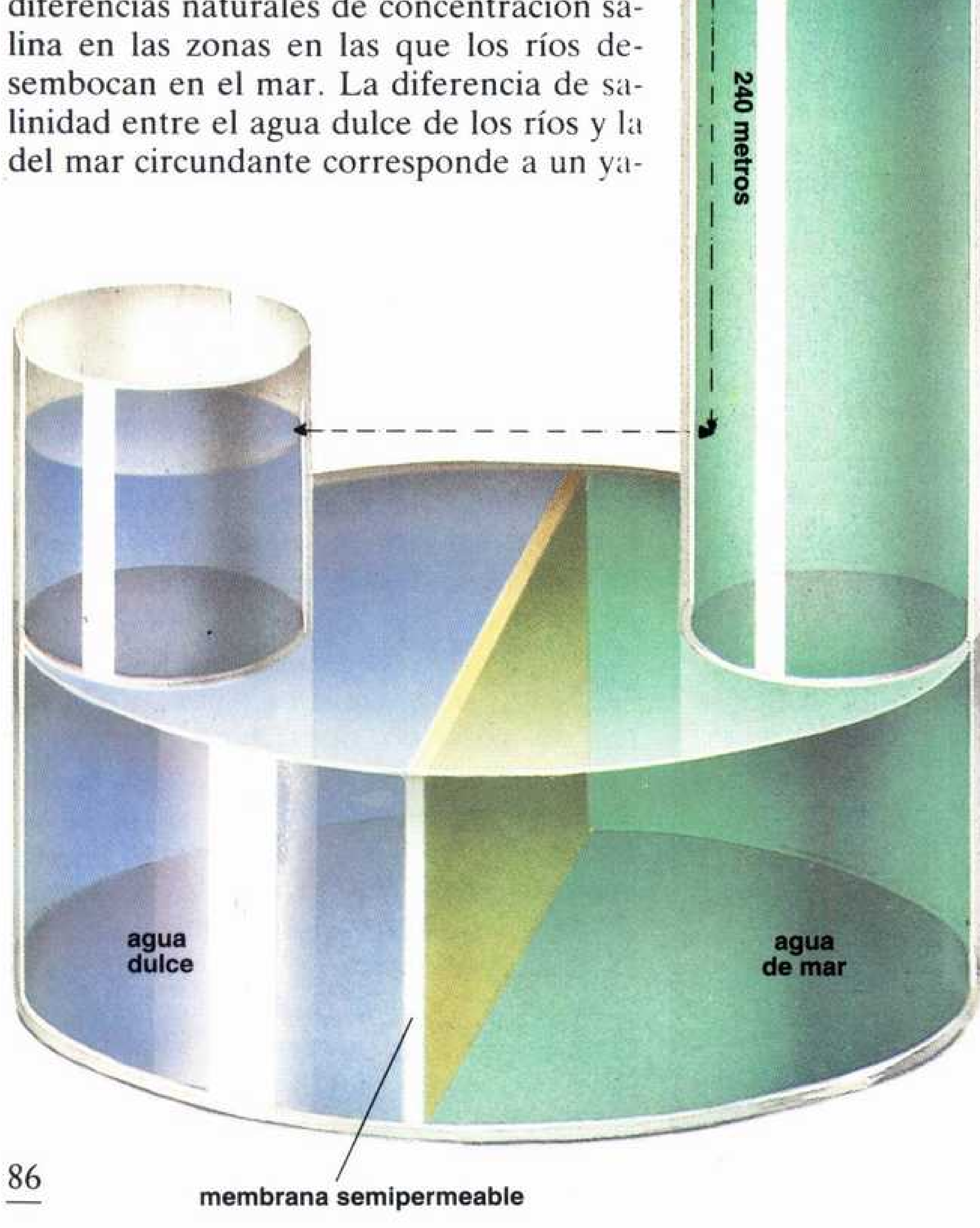
Se puede acoplar una unidad de recuperación de la energía de la sal a una planta de desalinización multifásica. Una vez que se ha procedido a la vaporización de la mayor parte del líquido marino para obtener agua dulce, el agua hipersalada restante puede ser utilizada como fuente energética. Al ser mucho más salada que el mar, posee una presión osmótica muy superior y fácilmente utilizable.

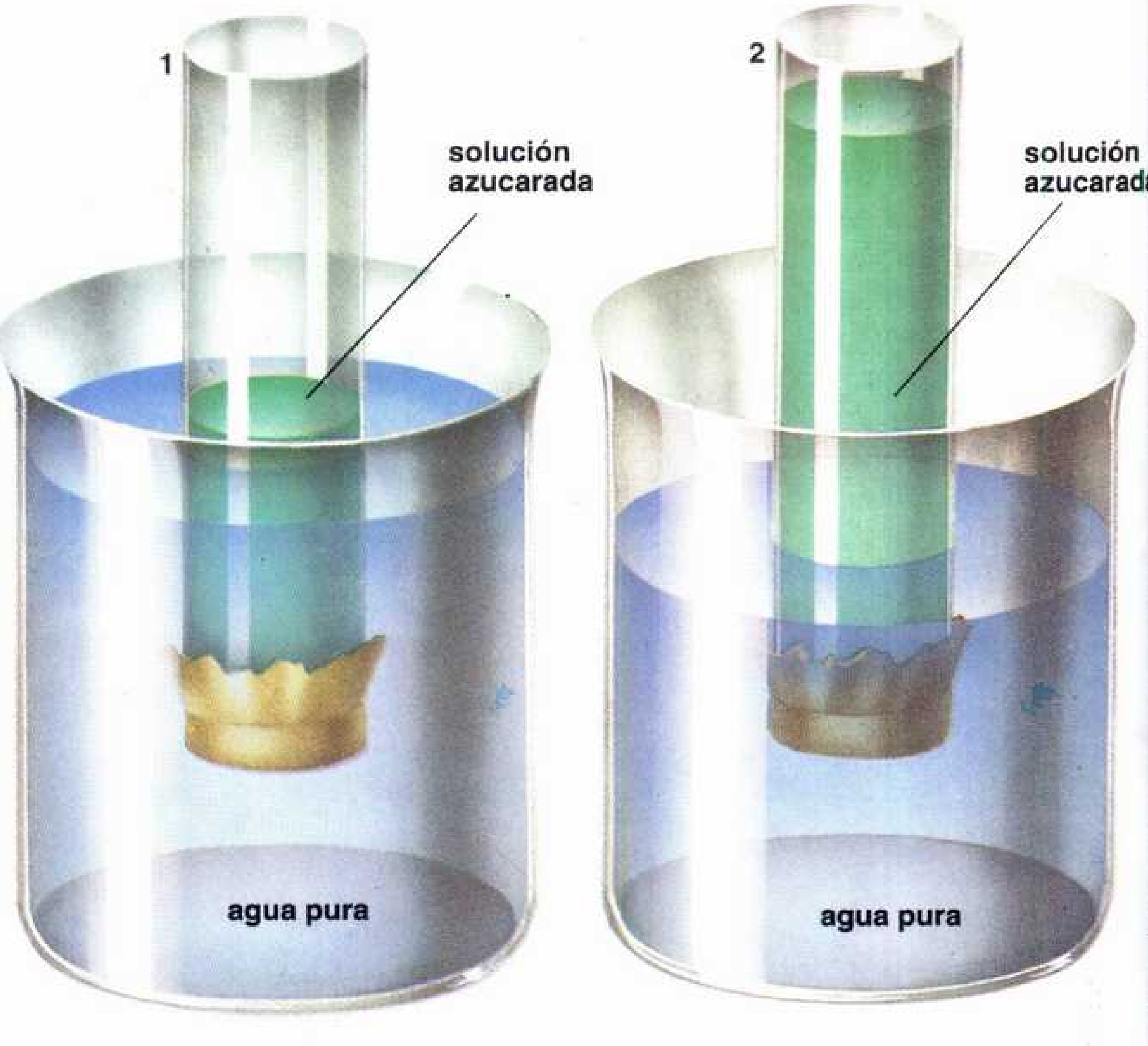
De forma general, si consiguiéramos recuperar sin grandes complicaciones la energía denominada «de gradientes de salinidad», dispondríamos de una fuente enorme de energía. Existen en especial diferencias naturales de concentración salina en las zonas en las que los ríos desembocan en el mar. La diferencia de salinidad entre el agua dulce de los ríos y la del mar circundante corresponde a un yacimiento energético de la misma magnitud que el de la energía hidroeléctrica recuperada gracias a un gran embalse. Las leyes de la ósmosis son tales, que cada vez que se dispone de una solución concentrada yuxtapuesta a una solución menos concentrada es como si tuviéramos un potencial energético proporcional a la diferencia de concentración. La presión osmótica del agua de mar (cuya tasa de salinidad media es del 35 por 1000) es, respecto a la del agua dulce, de unas 24 atmósferas. En otros términos, equivale a la presión ejercida por una columna de 240 metros de altura. Es considerable.

El esquema fundamental de una «central de salinidad» construida en la desembocadura de un río podría ser el siguiente: el agua dulce del río penetra en el compartimiento inferior de un depósito. El agua de mar penetra en el compartimiento superior. Entre estas dos zonas, una membrana semipermeable permite al agua dulce subir al piso superior. La diferencia de presión osmótica entre las dos soluciones eleva el agua dulce como un verdadero ascensor.

Una vez subida mediante la fuerza de las diferencias de salinidad, el agua puede volver a caer haciendo girar una turbina. Se ha calculado que el caudal de un río como el Zaire permitiría producir de esta forma una potencia de 125.000 megavatios, equivalente a la de 125 grandes centrales nucleares. Si pudiéramos apropiarnos tan sólo del 1 por 100 de esta potencia, ¡ya sería algo!

Aunque renovable, la energía de la sal plantea algunos problemas ecológicos. Si se utilizara masivamente, para lo que aún falta mucho, podría ser causante de daños. Los ecosistemas marinos son muy sensibles a las concentraciones salinas. Si provocamos una mezcla prematura de las aguas dulces y de las aguas saladas en la desembocadura de los ríos para recuperar la energía de la sal, podríamos ocasionar degradaciones del medio.






__La presión osmótica.__ Si se toma un cristalizador lleno de agua pura (1) y se introduce en el tubo de ensayo que contiene una solución azucarada, y se separan además los dos líquidos con una membrana semipermeable (que deja pasar el agua, pero no las moléculas de azúcar), se observa que el agua migra del cristalizador hacia el tubo de ensayo (2). El agua va de la solución menos concentrada hacia la solución más concentrada, hasta que se logre el equilibrio. La presión osmótica media del agua de mar, comparada a la del agua dulce, equivale a una columna de agua de unos 240 metros de altura, es decir, 24 atmósferas. Existen diversas técnicas posibles para recuperar esta energía potencial. Se ha pensado en instalar centrales de energía salina en la desembocadura de algunos grandes ríos (Zaire, Amazonas, Nilo, etcétera). El lugar más favorable del mundo para este tipo de dispositivo es la desembocadura del Jordán, en el mar Muerto: está tan salada que su presión osmótica corresponde a unas 500 atmósferas, es decir, una columna de cinco kilómetros de altura.


REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

Abeille. Acqua Chem Water Technologies Division. Paolo Arata. Fiorella Bertini. Alberto Bertoldi. Bevilacqua, Milan. Bibliothêque du Monastère de L'Escorial. Bibliothêque Nationale, Lisbonne. Bibliothêque Nationale, Paris. Bibliothêque Universitaire, Bologne. Bodleian Library, Oxford. British Museum. British Museum/Photo Bertoldi. Caisse Nationale des Monuments Historiques, Paris. Campecci. Bianca Maria Cita. City Art Gallery Bristol. Civico Museo Navale, Pegli. Canada Center of Inland Waters, Royal Ontario Museum, And Klein Associates. Giorgio D'Andrea, Milan. De Beers Industrial Diamond Division. Deepsea Ventures, Inc. Gloucester Point, Virginie. Deutsches Museum, Munich. Sirmon Dimt. Harold E. Edgerton. Eni. Facchini/Pirelli S.PA. Rhodes W. Fairbridge. Farabola. Don Frey. Il Gabbiano. Fausto Giaccone/Marka. Heritage-Orizon. Thor Heyerdahl. Historisk Museum Bergen, Norvège/Photo A. Bertoldi. Institut Hydrographique de la Mer, Paris. Don Keith. Lamont-Doherty. Library of Congress, Washington D.C. Lockheed. Lucia Maldacea. Mariners Museum, New Port News. Umberto Marzani/Fabbri. Master. Mario Matteucci/Fabbri. Melegari. Musée Guimet, Paris. Musées Et Galeries Pontificaux, Le Vatican. Musée Archéologique, Aquilée. Musée Archéologique, Héraklion. Musée Archeólogique du Palais Royal, Venise. Musée Archéologique National Athénes. Musée Archéologique National, Beyrouth. Musée Archéologique National, Tarante. Musée Archéologique Prenestino, Palestrina. Musée Borély, Marseille. Musée D'Art Antique, Lisbonne. Musée de la Civilisation Romaine, Rome. Musée de la France d'Outre-Mer. Musée de la Marine, Paris. Musée des Sciences et des Techniques, Milan. Musée des Bateaux Vikings, Oslo. Musée du Louvre. Musée de l'Homme, Paris. Musée Egyptien, Le Caire. Musée National du Danemark. Musée National, Naples. Musée National, Tokyo. Musée Pigorini, Rome. Musée Rhénan, Treves. Musée Historique Naval, Venise. Musée Historique, Berne. Museum Voorland en Volkenkunde, Rotterdam. Musée National des Antiquités, Stockholm/Photo Bertoldi. N. Myers/Bruce Coleman Inc. Nasa. The National Maritime Museum, Greenwich. National Palace Museum, Taipei, Taiwan, République de Chine. National Gallery, Londres. Naval Photographic Center, Washington D.C. Nederlandsfh Historisch Scheepvaart Museum, Amsterdam. Nelson Gallery, Atkins Museum, Kansas City. Grazia Neri. The Carlsberg Glypotetk, Copenhague. Overseas. Daniele Pellegrini. Lino Pellegrini. Alain Perceval. Michele Peroglio Deiro. A. Potzolu. Publiaerfoto. Folco Quilici. Angelo Regaldi/Sef. Rijkmuseum, Amsterdam. Rijksmuseum Voor Volkenkunde. Aldo Rizzi/Fabbri. Rome, Le Vatican, Salle Royale. Saipem. Seacroft Hillside, Sheringaham Norfolk. Sep, Turin. Scripps Institution of Oceanography. Sir S.p.A. Statens Sjöhistoriska Museum, Wasavarvet, Stockholm. Stedelijk Museum, Amsterdam. M. Pia Stradella. Studio B. Peter Throck-Morton/Nancy Palmer Agency. Titus. University of Pennsylvania Museum, Philadelphie. U. S. Geological Survey. Romano Vada/Fabbri. Riccardo Villarosa/Overseas. Victoria and Albert Museum. Woodes Hole Oceanography Inst., Woods Holle, Ma, Usa.

ILUSTRADORES

Flavio Bassani. Michele Bernardi. Piero Cattaneo. Andrea Corbella. Antonio de Robertis. Diagram. Michelangelo Miani. Lorenzo Orlandi. Piero Pieroni. Riccardo Gatteschi. Procraf S.N.C. Angelo Ricci. Fernando Russo. Mario Russo. Tiger Tateishi. Triagono Illustrazioni. Masayoshi Yamamoto. US Department Energy.





17

ENCICLOPEDIA DEL MAR

folio